中国生态农业学报 2018 年 7 月 第 26 卷 第 7 期
Chinese Journal of Eco-Agriculture, Jul. 2018, 26(7): 1067−1079

DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.171122

李春梅, 邵景安, 郭跃, 曹飞, 谭少军. 基于地貌因子的高标准农田建设潜力研究[J]. 中国生态农业学报, 2018, 26(7): 1067−1079
LI C M, SHAO J A, GUO Y, CAO F, TAN S J. Construction potential of high-standard farmland based on landform factors[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2018, 26(7): 1067−1079

基于地貌因子的高标准农田建设潜力研究*

李春梅[1], 邵景安[1,2**], 郭 跃[1,2], 曹 飞[1], 谭少军[1]

(1. 重庆师范大学地理与旅游学院 重庆 401331; 2. 三峡库区地表过程与环境遥感重庆市重点实验室 重庆 401331)

摘 要: 建设高标准农田是科学、高效、可持续利用土地资源的重要方式, 建设潜力研究是高标准农田建设的前期基础工作。本文立足重庆市垫江县 4 个地貌类型区(浅丘低丘区、低中丘区、坪状高丘区、低山及山麓深丘区), 借助实地调研、图件和统计数据, 从地块尺度构建高标准农田建设潜力评价指标体系, 利用熵权法分别计算指标在各地貌类型区的权重, 借助综合指数法测算各评价单元建设的潜力得分。结果表明: 1)垫江县约 80%的基本农田具备建设成高标准农田的潜力, 其中: 基本具备区占 28.57%, 稍加整治区占 24.13%, 全面整治区占 26.92%。2)4 种地貌类型区建设高标准农田的潜力大小排序为浅丘低丘区>低中丘区≈坪状高丘区>低山及山麓深丘区。3)不同地貌类型区高标准农田建设的限制因子差异较大: 浅丘低丘区限制因子是土壤有机质含量、农田防护面积, 低中丘区的限制因子是有效土层厚度、土壤有机质含量、灌排条件, 坪状高丘区的限制因子是土壤有机质含量、排灌条件、距交通干线距离, 低山及山麓深丘区的限制因子是有效土层厚度、土壤有机质含量、pH、排灌条件、农田机耕能力和田块到居民点距离。未来建设高标准农田时, 要因地制宜, 布设工程应紧密结合不同地貌类型区限制因子和当地农业产业发展方向, 聚焦主导产业消除或降低限制因子的作用, 进行差别化高标准农田建设。

关键词: 高标准农田; 建设潜力; 地貌类型; 限制性因子; 农业产业; 差别化农地整治

中图分类号: S281 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2018)07-1067-13

Construction potential of high-standard farmland based on landform factors*

LI Chunmei[1], SHAO Jing'an[1,2**], GUO Yue[1,2], CAO Fei[1], TAN Shaojun[1]

(1. College of Geography and Tourism, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China; 2. Key Laboratory of Surface Processes and Environmental Remote Sensing in the Three Gorges Reservoir Area, Chongqing 401331, China)

Abstract: The construction of high-standard farmland is important for scientific, efficient and sustainable use of land resources, and the potential study is the basic work in the construction of high-standard farmland. In view of the experience and problems in the construction of high-standard farmland during the "12th Five-Year" period, this study hypothesized that "high-standard" not only focused on the quality improvement, but also the enhancement of mechanization and scale of cultivated land. Moreover, differentiation was necessary in planning and design for various natural, social and economy conditions. There are complex and diverse landform types in Chongqing. Driven by the law of regional differentiation, significant differences in social-economy and industrial development arose in space. Thus this article used landforms as the basis for evaluation of high-standard farmland construction potential with Dianjiang County in Chongqing as the research area. The study analyzed the potential of using basic

* 重庆市差别化农村土地整治技术研发与示范项目(KJ-2016003)资助
** 通信作者: 邵景安, 主要从事土地利用与生态过程研究。E-mail: shao_ja2003@sohu.com
李春梅, 主要从事土地资源可持续利用研究。E-mail: 1379051896@qq.com
收稿日期: 2017-12-03 接受日期: 2018-03-07
* This study was supported by the Differentiation Technology R&D and Demonstration in Rural Land Reclamation of Chongqing, China (KJ-2016003).
** Corresponding author, E-mail: shao_ja2003@sohu.com
Received Dec. 3, 2017; accepted Mar. 7, 2018

farmlands to build high-standard farmlands and isolated the limiting factors for building high-standard farmlands in different landform types. Hence it was expected that the study will provide the theoretical basis for the planning and construction of new high-standard farmlands in Dianjiang County, Chongqing. Based on the four landform areas of Dianjiang County (shallow and low hill area, low middle hill area, high hill with flat area, and low mountain and deep hill area), we established an index system to evaluate the construction potential of high-standard farmlands. Furthermore, the entropy weight method was used to calculate the weights of indicators in each geographic area. The comprehensive index method was further used to determine the potential score of each evaluation unit. The results showed that: 1) about 80% of the basic farmlands in Dianjiang County had the potential to be transformed into high-standard farmlands. Among these, the area basically meeting the construction criteria covered 28.57% of the total basic farmland, the area needing improvement accounted for 24.13%, and the area needing comprehensive renovation made up 26.92%. 2) The potential for the construction of high-standard farmlands in four types of landform was ranked as: shallow and low hill area > low middle hill area ≈ high hill with flat area > low mountain and deep hill area. 3) There were different limiting factors to high-standard farmland construction in different landform areas. The restricting factors in the shallow and low hill area were soil organic matter content and farmland protective acreage. The limitations in low middle hill area were effective soil layer thickness, soil organic matter content, and irrigation and drainage conditions. The restrictive factors in the high hills with flat area were soil organic matter content, irrigation and drainage conditions, and distance of field to main road. The limiting factors in low mountains and deep hill area were effective soil layer thickness, soil organic matter content, pH, irrigation and drainage condition, farmland tractor-plowing ability, and distance of field to residential area. In the planning and implementation of high-standard farmland construction projects, there was need for project layout to be closely developed around different physiognomy type restriction factors and local agricultural industry development direction. At the same time, there was need for project layouts to focus on leading industries and to eliminate or reduce the role of limiting factors, to carry out different high-standard farmland constructions.

Keywords: High-standard farmland; Construction potential; Landform type; Limiting factor; Agricultural industry; Different farmland consolidation

高标准农田的基本内涵是指在基本农田的基础上，通过土地整治形成的高产稳产、抗灾能力强、生态良好、集中连片、设施配套且与现代农业生产和经营方式相适应的高效化农田[1]。高标准农田的建设是一项利国利民的基础性工程：1)从国家层面看，它是落实耕地“三位一体”(数量、质量和生态)保护的重要抓手，也是实现由传统农业大国向农业强国转变的重要途径。2)从乡村经济发展看，高标准农田建设对提高耕地集约节约化利用，实现规模化和机械化耕作，改善农村居民生活水平，实现项目区的经济生态可持续增长，尤其对当下提倡的“乡村振兴”战略和“精准扶贫”政策落地，均具有十分重要的推动作用[2]；此外，高标准农田建设工程为新兴产业在乡村落户和新型经营主体培育提供条件，进而为实现乡村转型发展，推进城乡一体化进程提供保障[3]。3)从环境保护层面看，高标准农田建设将生态文明理念贯穿始终，坚持耕地生产功能与生态服务功能两者整体协调提升，有效保护耕地分布区的生物多样性，有利于耕地可持续用于农业生产[4]。因此，高标准农田的建设已成为土地整治工作的重点[5]，同时也是学者研究的热点。通过学习和借鉴发达国家对农用地科学使用和保护的经验，如美国 LESA 体系[6]，德国的农村土地景观、生产、生态综合整治体系[7-8]，日本严格的土地整治技术体系[9]，法国专业经营[10]等，国内学者已形成自己特有的研究内容和方法：建设潜力评价[11]、选址适宜性评价[12-14]、建设时序[15]与建设模式[16]等内容都是十分契合中国土地整治现实所需。此外，研究方法多样化[6,17-18]，使用 GIS 和数学模型等技术手段[12,19]进行评价，具有较强的适用性。纵观以往研究，高标准农田建设多采取一概而论的研究思路对研究区进行评价[5,20-21]，少有仔细甄别研究区地貌和产业的差异，开展针对性、因地制宜和求同存异的高标准农田整治技术的研究，忽略地貌差异的建设模式在一定程度上阻碍了高标准农田发挥其应有的重要作用。参考“十二五”期间建设高标准农田的经验及存在的问题，本文认为“高标准”不仅要着重考虑耕地产能的提高及机械化、规模化的耕作条件改善，而且还应在规划设计的差别化上予以“高标准，严要求”。重庆地貌类型复杂多样，在地域分异规律作用下，空间上社会经济和产业发展分异显著，因此，开展差别化高标准农田建设尤为必要，这也符合“十三五”规划纲要首次提出的国土空间划分及分类管理政策。

高标准农田建设潜力分析是指在一定时期内，采取相应的工程措施或技术措施，在提高土地资源利用率的基础上，增加土地资源数量、提高质量以及改善生态环境的能力[20]。其为高标准农田建设选址、工程布设、时序安排提供基础性指导[11]，给当地政府部门及决策者制定规划提供理论建议。结合调研和数据获

取情况, 本文选取重庆农业发展大县垫江县为研究区, 通过构建高标准农田潜力评价指标体系, 研究不同地貌类型区基本农田建成高标准农田的潜力大小, 识别不同地貌类型区建设高标准农田的限制因子, 以期为垫江县新一轮高标准农田规划与建设提供科学参考。

1　研究区概况与研究方法

1.1　研究区概况

研究区垫江县位于重庆东北部(107°13′~107°40′E、29°38′~30°31′N), 属于川东平行岭谷的一部分, 辖区具有“三山两槽一台”的地貌格局(图 1)。明月山、南华山、黄草山分别分布在西部、东北和东南边缘地带, 鹤大台地镶嵌于东南方向。属中亚热带湿润季风气候, 年均气温 17 ℃, 年均降水量 1 183 mm。有大小河溪 41 条, 集水面积较大流域有高滩河、大沙河和龙溪河, 均属于长江水系。长期耕作形成的水稻土、四川盆地特有的紫色土、地带性的黄壤、河流冲积而成的冲积土遍布。植被为亚热带常绿阔叶林。较好的地形、气候、土壤条件为境内农业发展奠定了基础条件。垫江县城有通往相邻各县的公路干线和高速路, 渝万高速路纵贯全境, 并有二级公路通往各个乡镇。垫江县兼有生态安全和粮食安全的功能, 伴随“成渝经济区”、“成渝城市群”的推进, 垫江县在为区域提供粮食保障上的作用越发突出。

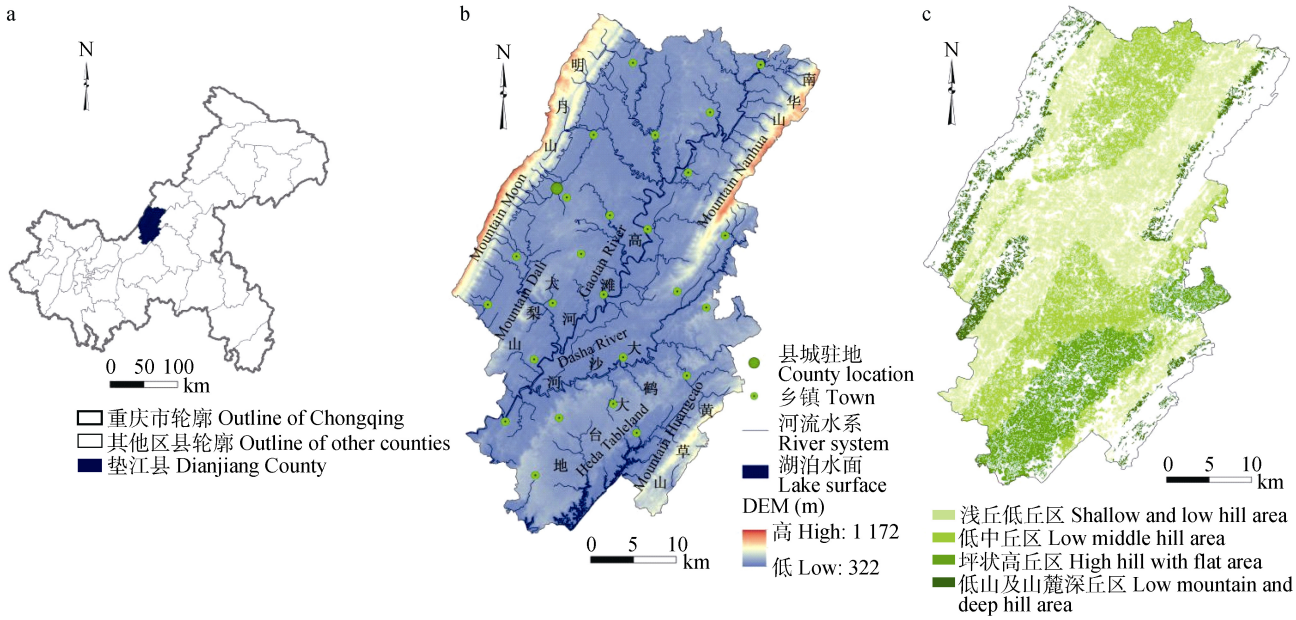

图 1　垫江县位置(a)、地形地貌(b)及基本农田所属地貌类型区分布(c)

Fig. 1　Location (a), landform (b) and landform regionalization of farmland (c) of Dianjiang County

垫江县有耕地 8 万 hm^2, 占整个幅员面积的 60%, 其中, 水田占 43%, 旱地占 57%。根据垫江县农用地分等定级数据库统计结果, 优质地占 31.59%, 中等地占 52.53%, 劣等地占 15.88%, 可见垫江县耕地质量以中等质量为主, 仍有进一步提升的空间。根据垫江县耕地分坡度统计结果(表 1), 坡度<2°的占比仅为 8%, 90%以上耕地为坡地或梯田; 梯田大部分分布在坡度 2°~15°的区域, 但主要集中在 6°~15°的区域。由此可见, 位于平行岭谷区的垫江县, 耕地地块的坡度仍较大, 不利于实行机械化和规模化耕作。对不同地貌类型区的基本农田进行建设潜力分析, 并找出其限制因子, 开展更具针对性的高标准农田建设可让工程建设事半功倍。

表 1　垫江县现有耕地坡度统计表

Table 1　Statistical table of slop of existing farmland in Dianjiang County

	耕地坡度 Cultivated land slope (°)				
	≤2	2~6	6~15	15~25	>25
占比 Proportion (%)	8	15	45	19	13

	耕地类型 Cultivated land type							
	梯田 Terraces	坡地 Hillside field	梯田 Terrace	坡地 Hillside field	梯田 Terrace	坡地 Hillside field	梯田 Terrace	坡地 Hillside field
占比 Proportion (%)	14	1	19	26	1	18	1	12

1.2 地貌分区

根据《农用地质量分等规程》附录 B[1]中的地貌分区，垫江县属于一级区(共 12 个)中的四川盆地，二级区(共 40 个)中的盆东丘陵低山区。依据《重庆市高标准农田建设技术要求》(试行)，丘陵指高低起伏，坡度较缓，连绵不断的低矮隆起的高地，绝对高度在 500 m 以下。其中相对高差在 20 m 以内的属于浅丘，相对高差在 50 m 以内属于低丘，相对高差在 50~100 m 的属于中丘，相对高差在 100 m 以上的属于高丘。低山指绝对高度在 500~1 000 m，相对高度在 200~500 m，中山指绝对高度 1 000~3 500 m，相对高度 500~1 000 m。结合垫江县实际海拔和相对高差，参照垫江县农用地分等因素指标区划分，将垫江县划分为低丘浅丘区、低中丘区、坪状高丘区、低山及山麓深丘区 4 个地貌类型区(表 2)。基本农田在 4 种地貌类型区内的分布情况见图 1。

表 2 垫江县 4 种地貌类型区划分依据及其分布

Table 2 Dividing basis and distribution of four landform types in Dianjiang County

地貌 Landform	划分依据 Division basis		主要分布区域 Mainly distribution area
	海拔 Altitude (m)	相对高差 Relative height difference (m)	
浅丘低丘区 Shallow and low hill area	<500	<50	高滩河沿岸、明月山沿线以东 Gaotan River coast, east of Mountain Moon
低中丘区 Low middle hill area	<500	50~100	垫江县北部、鹤大台地周围区域 North Dianjiang County, area around the Heda Tableland
坪状高丘区 High hill with flat area	<500	>100	鹤大台地 Heda Tableland
低山及山麓深丘区 Low mountain and deep hill area	500~1 000	200~500	明月山、南华山、黄草山、大梨山山麓 Mountain Moon, Mountain Nanhua, Mountain Huangcao, foothill of Mountain Dali

1.3 研究方法

1.3.1 评价单元的确定

评价单元是评价对象内部属性相对均一的最小单元，与外部属性相差较大[22]，不同的评价单元决定不同精度的评价结果。一般来说，评价单元越小，其属性(如坡度、距离田间道和居民点的距离等)更为精准，评价结果也愈加接近实际情况。为此，本研究考虑数据获取情况并结合单元内部的地形地貌、土壤和水源等自然条件，以及交通、市场等社会经济特征[23]，选择地块(1 个基本农田图斑)作为评价单元，通过图层融合和叠加得到垫江县共计 5 953 个评价单元。

1.3.2 数据来源与预处理

数据来源：1)2012 年垫江县农用地等级质量数据和 2012 年土地利用变更数据来源于重庆市国土与房屋管理局；2)2.5 m 分辨率 SPOT-5 全色遥感影像来源于垫江县林业局；3)通过重庆市土地整治中心获取 30 m 分辨率 DEM 数据；4)访谈数据：课题组于 2016 年 12 月—2017 年 1 月为期 2 个月对垫江县 4 个地貌类型区进行实地走访勘察，全组 20 人分成 4 组，每个地貌类型区 1 个组，实地踏勘并记录各个地貌类型区的农田防护情况、农田机耕能力(用购买农机具意愿刻画)、当地产业实况以及居民对前一轮高标准农田建设的看法及建议，向乡镇干部了解居民人均收入情况及高标准农田建设收益状况。

数据预处理：1)对垫江县农用地等级质量数据、2012 年土地利用变更数据、30 m DEM 数据进行校正，统一设置成高斯-克吕格投影，西安 1980 坐标系。通过农用地质量等级数据得到有效土层厚度、土壤有机质含量、土壤质地、土壤 pH 和灌排条件数据；2)借助 ENVI5.0 平台对垫江县 2.5 m 全色分辨率 SPOT-5 遥感影像进行几何校正、辐射校正，基于前期遥感解译标志矢量化垫江县高速公路、国道、省道、田间道与生产路，以计算田间道路通达度以及田块到交通干线距离；3)在 ARCGIS10.2 上利用 Clip 命令对 30 m 分辨率的 DEM 数据进行裁剪，得到研究区田块的海拔和田块坡度。4)将访谈和调研所得的数据和通过 ARCGIS10.2 平台计算所得数据录入农用地质量等级数据图斑的属性表内，生成高标准农田建设潜力数据库。

1.3.3 评价指标体系的构建

参考已有成果[11-12]，本研究从高标准农田建设内容和基本定义出发，结合《重庆市高标准农田建设技术要求》(试行)，遵循差异性与不相容性、综合性与主导性、可操作性、空间性和因地制宜等原则[4]，构建高标准农田建设评价指标体系(表 3)。建立高标准农田建设目标层，建立土壤条件、耕作便利条件、社会经济条件、农田防护条件 4 个准则层，共计选择 15 个指标。

土壤条件。土壤条件是基本农田的本底条件，

基于级差地租 I[24]，土壤质量较优的土地，农作物产量较高，农民获超额利润更高；此外，根据高标准农田建设技术要求，土壤改良也是高标准农田建设的内容之一。本研究采用有效土层厚度、土壤有机质含量、表层土壤质地、pH 4 个指标表征土壤条件的本底情况。有效土层一般包括耕作层和犁底层土层，有效土层越厚，土壤蓄水、保水、保肥和供肥的性能也越好，粮食产量提高潜力越大[25]。土壤有机质对土壤肥力影响很大，是植物和微生物生命活动所需养分和能量的源泉，含量越高，越能满足作物生长发育所需的养分[25]。土壤质地能较好地表征土壤的耕作性能，具有调节土壤水、肥、气、热的功能[25]。土壤 pH 对土壤肥力及作物生长及品质影响较大[26]。

表 3　高标准农田建设潜力评价指标体系

Table 3　Assessment index system of construction potentiality of high-standard farmland

目标层 Target layer	准则层 Rule layer	指标层 Index layer	指标类型 Index type	处理方法 Processing method
高标准农田框架指标 Indicators of high-standard basic farmland framework	土壤条件 Soil condition	*C*1 有效土层厚度 Effective soil layer thickness (cm)	+	—
		*C*2 土壤有机质含量 Soil organic matter content ($g \cdot kg^{-1}$)	+	—
		*C*3 表层土壤质地 Top soil texture	适宜 Suitable	—
		*C*4 pH	适宜 Suitable	—
	耕作便利条件 (立地条件) Tillage factor (site condition)	*C*5 田块坡度 Field slope (°)	–	DEM 提取 DEM extract
		*C*6 集中连片度 Aggregation index	+	缓冲区分析-数据融合 Buffer analysis and data fusion data fusion
		*C*7 排灌条件 Irrigation and drainage condition	+	—
		*C*8 田间道路通达度 Rode accessibility (%)	+	Near 分析 Near analysis
		*C*9 田块到居民点距离 Distance of field to residential area (m)	–	Near 分析 Near analysis
	社会经济条件 Socio-economic condition	*C*10 田块到交通干线距离 Distance of field to main road (m)	–	缓冲区分析 Buffer analysis
		*C*12 农民人均 GDP GDP per farmer (¥)	+	—
		*C*13 农田机耕能力 Farmland tractor-ploughing ability	+	—
	农田防护条件 Farmland protection condition	*C*14 林网密度 Wood density	适宜 Suitable	—
		*C*15 农田防护面积 Farmland protective acreage (%)	+	—

耕作便利条件。耕作便利条件反映基本农田高效化利用的便利程度，根据级差地租 II[24]，即使同一种肥力水平的耕地，对其追加不同程度的投资，也会获得有差异的差额利润。这表明通过合理的投资改善基本农田耕作便利程度，可提高劳动生产率。田块坡度指单个田块内部田面高差，坡度小不仅有利于土壤涵养，保障农作物生长发育的水源[25]，而且便于机械化耕作和农户对农田的管理。集中连片程度用地块融合后地块的面积大小表征，在 ARCGIS 10.2 软件中进行缓冲区分析，设置阈值为 20 m[4]，将相连或相交的地块融合。田块坡度小且集中连片度高的田块有利于实现机械化作业，符合现代农业的生产和规模经营要求，可降低每个地块的耕作成本[12]。排灌条件和田间道路通达度是高标准农田建设的必要条件，为现代农业和农田机械化作业提供基本保障。田间道路通达度反映田间道路分布与数量情况，值越大通达性越好，应对自然灾害的水平越高。田块到居民点距离远近反映农户对农田管理的便捷程度，距居民点越近，管理越便捷。

社会经济条件。社会经济条件反映高标准农田建设的外部环境[27]。本文用区位条件和居民经济水平来衡量。社会经济条件越好，居民建设高标准农田的积极性越高，越有利于工程的开展。根据级差地租 I[24]，距市场远近或者到达市场的便捷程度会通过影响成本而影响农民收益，本文采用距离城镇的距离来衡量市场的远近，交通条件的改善在一定程度上弥补距离市场较远的缺陷，交通便利的地方，可从时间维度缩小距离市场的距离，因此本文加入距离交通干线距离衡量区位条件。居民经济条件用居民人均 GDP 和农田机耕能力衡量，人均 GDP 越高，说明人均收入越高。农田机耕能力用居民购买农机具意愿刻画，机耕能力越高说明居民用于购买农田生产工具的投入高，更渴望通过土地获得更高的经济收入。

农田防护条件。农田防护条件反映高标准农田生态建设条件，用林网密度和农田防护面积表征，林网

密度反映农田植被的疏密程度，以透风型最好。农田防护面积指具备农田防护设施的耕地面积占耕地总面积的比例，比例越高农田使用安全性越高。

1.3.4 指标权重的确定

本研究根据待评价指标变异程度来确定各项指标系数，即熵权法，它具有减少人为主观干扰和操作性强的优点，指标间的差异性可通过数据隐含的信息反映[15]。其基本思路是：评价对象在某项指标的值相差越大，该评价对象越重要，权重越大。

计算步骤如下：

1)构建原始数据决策矩阵(M)：

$$M=(y_{ij})_{m\times n}\ (i=1, 2, \cdots, m; j=1, 2, \cdots, n) \tag{1}$$

式中：i 为评价单元；j 为评价指标；m 为被评价单元的个数，本文共计 5 953 个评价单元；n 为每个被评价对象的指标个数，本文共计 15 个指标。

2)原始数据归一化处理和标准化。本文分为正、负相关性指标归一化处理。

正相关性指标归一化处理：

$$y'_{ij}=\frac{y_{ij}-\max(y_{ij})}{\max(y_{ij})-\min(y_{ij})} \tag{2}$$

负相关性指标归一化处理：

$$y'_{ij}=\frac{\max(y_{ij})-y_{ij}}{\max(y_{ij})-\min(y_{ij})} \tag{3}$$

式中：y_{ij} 为指标的实测值，$\max(y_{ij})$和 $\min(y_{ij})$为指标的实测最大值和最小值。

计算第 i 个评价单元第 j 个指标标准化值(z_{ij})：

$$z_{ij}=\frac{y'_{ij}}{\sum_{i=1}^{m}y'_{ij}}\ (i=1, 2, \cdots, m; j=1, 2, \cdots, n) \tag{4}$$

3)计算评价指标的信息熵 H_j，运算公式为：

$$H_j=-k\sum_{i=1}^{m}z_{ij}\ln z_{ij}\ (i=1, 2, \cdots, m; j=1, 2, \cdots, n) \tag{5}$$

式中：k 为调节系数，$k=1/\ln m$。

4)计算指标权重(w_j)：

$$w_j=\frac{1-H_j}{\sum_{j=1}^{n}\left[1-H_j\right]} \tag{6}$$

5)计算各评价单元得分值(S)：

$$S=\sum_{j=1}^{n}z_{ij}w_j \tag{7}$$

1.3.5 高标准农田建设潜力评价指标分值测算

研究过程中，由于选取的评价指标具有不同性质，量纲不一，不可直接对比，因此采用赋值法对所选指标进行处理，转化后的数值与建设内容正相关。本文参照《重庆市高标准农田建设标准(试行)》以及以往的研究[2,23]，结合调研结果，指标分级分值处理结果见表 4。

表 4 高标准农田建设潜力评价指标分级分值标准

Table 4 Grading scores standards of assessment indexes of construction potentiality of high-standard farmland

指标 Index	指标分值 Index score			
	40	60	80	100
$C1$ (cm)	<40	40~60	60~80	≥80
$C2$ (g·kg^{-1})	<1.0	1.0~1.5	1.5~2.0	≥2.0
$C3$	砾质土 Gravelly soil	黏土 Clay	砂土 Sandy soil	壤土 Loam
$C4$	≤5.5 或≥9.5	5.5~6.0 或 9.0~9.5	6.0~6.5 或 8.5~9.0	6.5~8.5
$C5$ (°)	>15°	10°~15°	5°~10°	≤5°
$C6$	≤5	5~7	7~10	>10
$C7$	<70	70~80	80~90	≥90
$C8$ (%)	<95	95~98	98~100	100
$C9$ (m)	≥1 500	1 000~1 500	500~1 000	<500
$C10$ (m)	≥2 000	1 500~2 000	1 000~1 500	<1 000
$C11$	≥5 000	2 000~5 000	1 000~2 000	<1 000
$C12$ (¥)	<800	800~1 200	1 200~1 500	≥1 500
$C13$	差 Poor	中 Medium	良 Good	优 Excellent
$C14$	—	紧密型 Close type	舒透型 Breathable type	透风型 Drafty type
$C15$ (%)	≤50	50~70	70~90	>90

2 结果与分析

2.1 不同地貌类型区高标准农田建设指标权重计算结果

通过 1.3.4 熵权法计算公式, 对不同地貌类型区进行指标权重计算(表 5)。研究表明, 不同地貌类型区指标权重差异较大。浅丘低丘区权重较大的指标是土壤有机质含量、排灌条件, 权重较小的是集中连片度、田块到居民点的距离和农民人均 GDP; 低中丘区权重较大的是表层土壤质地、排灌条件、农田防护面积和林网密度, 权重较小的是集中连片度和农民人均 GDP; 坪状高丘区指标权重总体比较均衡, 最大的是田块到交通干线的距离, 最小的是有效土层厚度; 低山及山麓深丘区指标权重最大的是排灌条件, 较小的有集中连片度、田块到居民点距离、农民人均 GDP 和林网密度。值得注意的是, 排灌条件在坪状高丘区指标权重较小, 而在其他 3 个地貌类型区均较大, 原因是各地排灌设施都较欠缺, 灌溉水都依靠天然河塘等水源, 排水多为自然冲沟, 由于自然水源分布的差别, 造成内部排灌设施完备程度的差异。而坪状高丘区水保条件差, 灌排条件总体较差, 内部差异小, 其灌排设施权重小。此外, 农民人均 GDP 在各地貌类型区所得权重都较小, 说明垫江县农民收入差距较小。

表 5　不同地貌类型区高标准农田建设潜力评价指标的权重

Table 5　Weights of assessment indexes of construction potentiality of high-standard farmland for different landform areas

	指标 Index	浅丘低丘区 Shallow and low hill area	低中丘区 Low middle hill area	坪状高丘区 High hill with flat area	低山及山麓深丘区 Low mountain and deep hill area
土壤条件 Soil condition	*C*1	0.061	0.048	0.001	0.049
	*C*2	0.191	0.101	0.028	0.071
	*C*3	0.071	0.179	0.061	0.124
	*C*4	0.019	0.011	0.060	0.011
耕作便利条件 Tillage factor	*C*5	0.020	0.013	0.061	0.013
	*C*6	0.004	0.003	0.060	0.004
	*C*7	0.308	0.393	0.063	0.469
	*C*8	0.005	0.012	0.083	0.010
	*C*9	0.001	0.010	0.083	0.005
社会经济条件 Location condition	*C*10	0.032	0.049	0.086	0.030
	*C*11	0.020	0.018	0.082	0.027
	*C*12	0.002	0.002	0.082	0.003
	*C*13	0.036	0.034	0.084	0.092
农田防护条件 Farmland protection conditions	*C*14	0.112	0.002	0.083	0.001
	*C*15	0.116	0.126	0.083	0.090

2.2 高标准农田建设潜力区划定

结合不同地貌类型区指标的权重(表 5), 借助综合指数法测算建设潜力, 不同地貌类型区得分结果见图 2。为便于不同地貌类型区建设潜力的对比, 基于《重庆市高标准基本农田建设技术要求》(试行), 参考以往文献研究结果[2,12], 对不同地貌类型区采取同样的潜力划分标准, 即: 总分>80, 划为基本具备区; 总分为 70~80, 为稍加整治区; 总分为 60~70, 为全面整治区; 总分<60, 为不适宜区。经统计, 整个垫江县基本农田建设潜力情况如表 6 所示。

由表 6 可知, 基本具备高标准农田建设条件的农田面积 22 985.71 hm^2, 占垫江县基本农田总面积的 28.57%; 需要稍加整治的基本农田 19 413.55 hm^2, 占 24.13%; 需要全面整治的基本农田 21 658.22 hm^2, 占 26.92%; 不适宜建成高标准农田的基本农田 16 396.53 hm^2, 占 20.38%。可见, 垫江县基本农田在各建设潜力分区内分布相对均衡, 约 80%的基本农田具备高标准农田建设潜力。对于具备不同建设潜力的基本农田, 要因地制宜, 结合农田本底条件、立地条件和区位条件, 进行差别化的规划建设。而不适合建设高标准农田的基本农田, 多分布在坡度较大且土层较薄的低山区, 这部分基本农田在利用过程中应以生态保护为主, 发挥其生态效益, 不可强推其达到高标准农田的标准, 以防造成水土流失, 破坏生态环境。

2.3 不同地貌类型区高标准农田建设潜力

通过 ARCGIS 10.2 中的 SQL 语言分区统计垫江县 4 种地貌类型区农田建设成高标准农田的潜力情况。表 7 为各地貌类型区内所具备各种潜力情况的

表 6 垫江县高标准农田建设潜力划分标准及划分结果

Table 6 Division standard and result of high-standard farmland construction potentiality in Dianjiang County

分值 Score value	高标准农田建设潜力分区 Subdivision of potentiality of high-standard farmland construction	面积 Area (hm^2)	比例 Proportion (%)
≥80	A1 基本具备区 Subdivision basically meeting the construction criteria	22 985.71	28.57
70~80	A2 稍加整治区 Subdivision needing improvement	19 413.55	24.13
60~70	A3 全面整治区 Subdivision needing comprehensive renovation	21 658.22	26.92
<60	A4 不适宜区 Not suitable area	16 396.53	20.38
合计 Total		80 454.00	100.00

表 7 垫江县不同地貌类型区高标准农田建设潜力统计表

Table 7 Statistical table of high-standard farmland construction potentiality in each landform area in Dianjiang County

潜力分区 Subdivision of potentiality	浅丘低丘区 Shallow and low hill area		低中丘区 Low middle hill area		坪状高丘区 High hill with flat area		低山及山麓深丘区 Low mountain and deep hill area	
	面积 Area (hm^2)	比例 Proportion (%)	面积 Area (hm^2)	比例 Proportion (%)	面积 Area (hm^2)	比例 Proportion (%)	面积 Area (hm^2)	比例 Proportion (%)
A1	14 697	46.36	6 223	22.24	545	4.09	1 507	20.25
A2	4 462	14.07	5 962	21.31	8 529	64.00	475	6.38
A3	7 691	24.26	8 751	31.27	4 068	30.53	1 144	15.37
A4	4 854	15.31	7 046	25.18	184	1.38	4 316	58.00
合计 Total	31 704	100.00	27 982	100.00	13 326	100.00	7 442	100.00

农田面积和占该区农田总面积的百分比。浅丘低丘区基本具备区(A1)、稍加整治区(A2)、全面整治区(A3)、不适宜区(A4)所占百分比分别为 46.36%、14.07%、24.26%、15.31%，浅丘低丘区建设高标准农田的潜力以基本适宜区为主，不适宜区占比小，该区具备较大的高标准农田建设潜力。低中丘区 A1、A2、A3、A4 占比分别为 22.24%、21.31%、31.27%、25.18%，占比最高的是全面整治区，最小的是稍加整治区，总体上该区各潜力分区占比较为均衡，潜力有待挖掘。坪状高丘区 A1、A2、A3、A4 占比分别为 4.09%、64.00%、30.53%、1.38%，该区潜力状况分区明显，以稍加整治区为主，其次全面整治区也占据较大比重，基本具备区和不适宜区占比较小，该区整体潜力较大。低山及山麓深丘区 A1、A2、A3、A4 占比分别为 20.25%、6.38%、15.37%、58.00%，不适宜区占比超过 50%，稍加整治区占比最小，该区建设高标准农田的总体潜力不高。就 4 种地貌类型区总体建设高标准农田的潜力而言，浅丘低丘区潜力最高、低山及山麓深丘区潜力最小，低中丘区和坪状高丘区潜力相当。

通过分地貌类型区对得分频率进行统计(图 2)，得到各地貌类型区农田建成高标准农田的优劣因子。统计过程中，将得 100 分和 80 分频率的和超过 50%，且得 40 分频率小于 10%的因子划为优势因子，将得 40 分和 60 分频率的和超过 50%，且得 100 分频率小于 10%的因子划为劣势因子，但如果某个因子的劣势或者优势特别明显，也相应地划入优势或者劣势因子，结果见表 8。

结合图 3，各地貌类型区具有如下的高标准农田建设潜力特征。

1)浅丘低丘区各评价单元得分值为 54~97 分(图 3a)，潜力状况以基本适宜区为主，不适宜区占比小，具备较好的高标准农田建设潜力。其主要位于垫江县中部，基本农田多位于高滩河两侧的冲积平坝上，土壤为灰棕紫泥土，质地较好，酸碱度适中。该地貌类型区因土壤质地较好且整体地势较为低缓，农村居民点密度高，农田距居民点近，田间道路相对完善，居民具有较强的农机具购买欲望。调研发现，该区农田防护林以透风型为主，密度适宜，但具有农田防护设施的面积少。浅丘低丘区地势低平，田块面积较大，在垫江县的产业定位为粮油主产区，高标准农田建设过程中，应重点进行格条田建设，适当开展田块归并和土地平整工程，减小田坎面积，增加净耕地面积和单块田块的面积，争取实现机械化和规模化耕作条件。此外，充分发挥优势因子的作用，重点改善限制性因子，整治过程中要注重提高土壤有机质含量，合理规划防护林等，增加农田防护设施，以保证农田耕作的生态安全性。

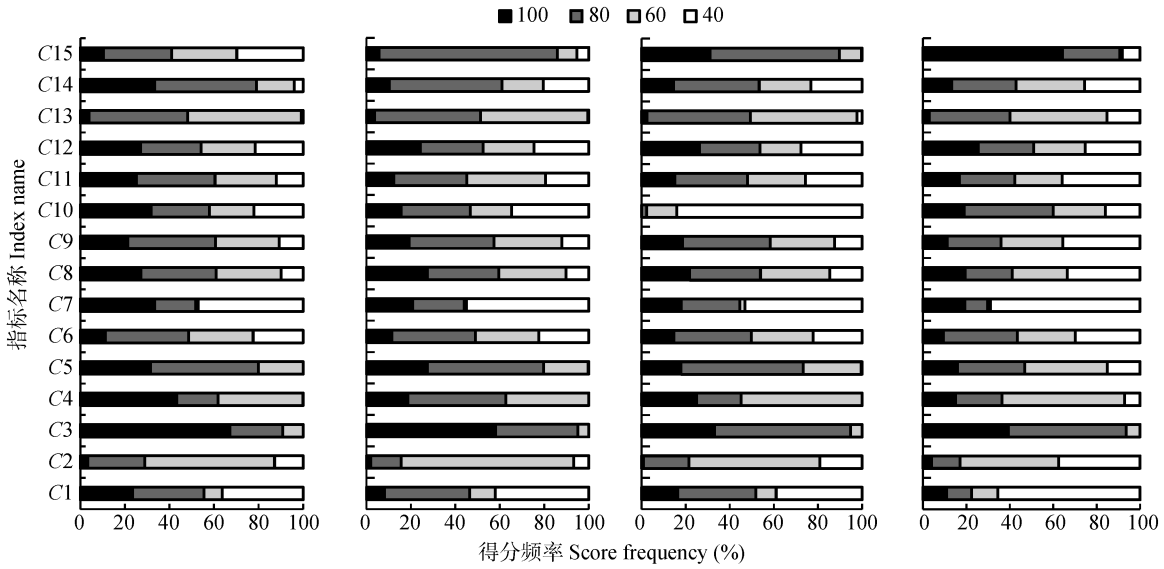

图 2　垫江县 4 种地貌类型区[浅丘低丘区(a)、低中丘区(b)、坪状高丘区(c)和低山及山麓深丘区(d)]高标准农田建设潜力指标得分频率统计图

Fig. 2　Score frequencies of high-standard farmland construction potentiality indexes of four landforms (a: shallow and low hill area; b: low middle hill area; c: high hill with flat area; d: low mountain and deep hill) in Dianjiang County

表 8　垫江县各地貌类型区高标准农田建设的优劣因子

Table 8　Advantage and limiting factors in each landform area of high-standard farmland construction in Dianjiang County

地貌类型区 Landform type	优势因子 Advantage factor	限制因子 Limiting factor
浅丘低丘区 Shallow and low hill area	表层土壤质地、pH、田块坡度、田间道路通达度、田块到居民点距离、林网密度 Surface soil texture, pH, field slope, rode accessibility, distance of field to residential area, forest density	土壤有机质含量、农田防护面积 Soil organic matter content, farmland protective acreage
低中丘区 Low middle hill area	表层土壤质地、pH、田块坡度、农田防护面积 Surface soil texture, pH, field slope, farmland protective acreage	有效土层厚度、土壤有机质含量、排灌条件 Effective soil layer thickness, soil organic matter content, irrigation and drainage condition
坪状高丘区 High hill with flat area	表层土壤质地、田块坡度、农田防护面积 Surface soil texture, field slope, farmland protective acreage	土壤有机质含量、排灌条件、距交通干线距离 Soil organic matter content, irrigation and drainage condition, distance of field to main road
低山及山麓深丘区 Low mountain and deep hill area	表层土壤质地、农田防护面积 Surface soil texture, farmland protective acreage	有效土层厚度、土壤有机质含量、pH、排灌条件、农田机耕能力、田块到居民点距离 Effective soil layer thickness, soil organic matter content, pH, irrigation and drainage condition, farmland tractor-ploughing ability, distance of field to residential area

2)低中丘区各评价单元得分值为 51~97 分(图 3b)，高标准农田建设潜力以全面整治为主，潜力有待挖掘。低中丘区红棕紫泥土分布广泛，俗称硝地，土壤条件中既有优势因子也有劣势因子，土壤质地和 pH 是其优势因子，但硝地土壤胶体品质差，潜在的养分低且土层较薄，有机质含量低且表层土壤厚度薄(表 8)。该区域整体地势平缓，农田防护面积适宜，但是灌排条件不够。高标准农田建设过程中，工程布设应根据地形地貌因地制宜，在坡度适宜的区域进行缓坡整治，坡度较小的宽谷区域进行格条田整治。整治过程中，着重改善土壤质地，可针对传统种植的作物，科学配比施用相应的氮磷钾肥[28-30]，改善土壤质量。土地平整过程中，增加土层厚度，而土层过薄的地方，不作为整治备选区。合理规划灌排系统，整修或新修山坪塘等，增加水源，通过新修灌溉渠(管道)、排水沟等，提高区内灌排能力。

3)坪状高丘区各评价单元得分值为 52~85 分(图 3c)，该区高标准农田建设潜力以稍加整治和全面整治为主，总体建设潜力不错，但有待提高。坪状高丘区由蓬莱镇组沙、泥岩地层构成坪状高丘地貌，土壤为棕紫泥，虽然土壤质地不错，但有机质含量低，耐旱力弱，土壤生产力水平不高。坪状高丘区地势总体较高，但耕地多分布在坡度较缓的丘间地带，坡度不大，具有较好的防护功能。从表 8 可看出，排灌条件和距交通干线的距离是该区较大的限制性因子，在高标准农田建设过程中，应重点完善排灌设施，通过修缮山坪塘或新修囤水田等，增加水源。在

规划田间道路时，应适当增加村级或更高等级的主干道，以提高区域对外沟通交流的能力。

4)低山及山麓深丘区各评价单元得分值为48~97 分(图 3d)，该区在建设高标准农田的潜力评估中以不适宜区为主，建设潜力不足。该区主要分布在金华山、明月山、黄草山山麓，为低山槽谷和深丘窄谷地貌，岭谷相对高差大。土壤母质以灰岩、砂岩、泥岩为主，土壤黏重且多偏酸性，表层土壤厚度薄，有机质含量低(表 8)。因地形起伏较大，田块较为分散，距离居民点的距离较远，很多地块耕作条件不能满足。所以，该区域耕作便利条件差，农民购买农机具欲望较低。此外，排灌条件也是其限制性因子。该区有林地面积大，农田防护面积大。低山及山麓深丘区高标准农田建设过程中限制性因子较多，对不适宜的区域应以生态保护为主，不强求其达到高标准农田的建设要求。对具备建设潜力的区域，逐个改善其限制性因子，对于难以改善的限制性因子，如土壤条件，可因地制宜发展经济林果产业，再围绕产业提高立地条件，改善排灌条件和田间道路通达度，以满足居民管理需要。

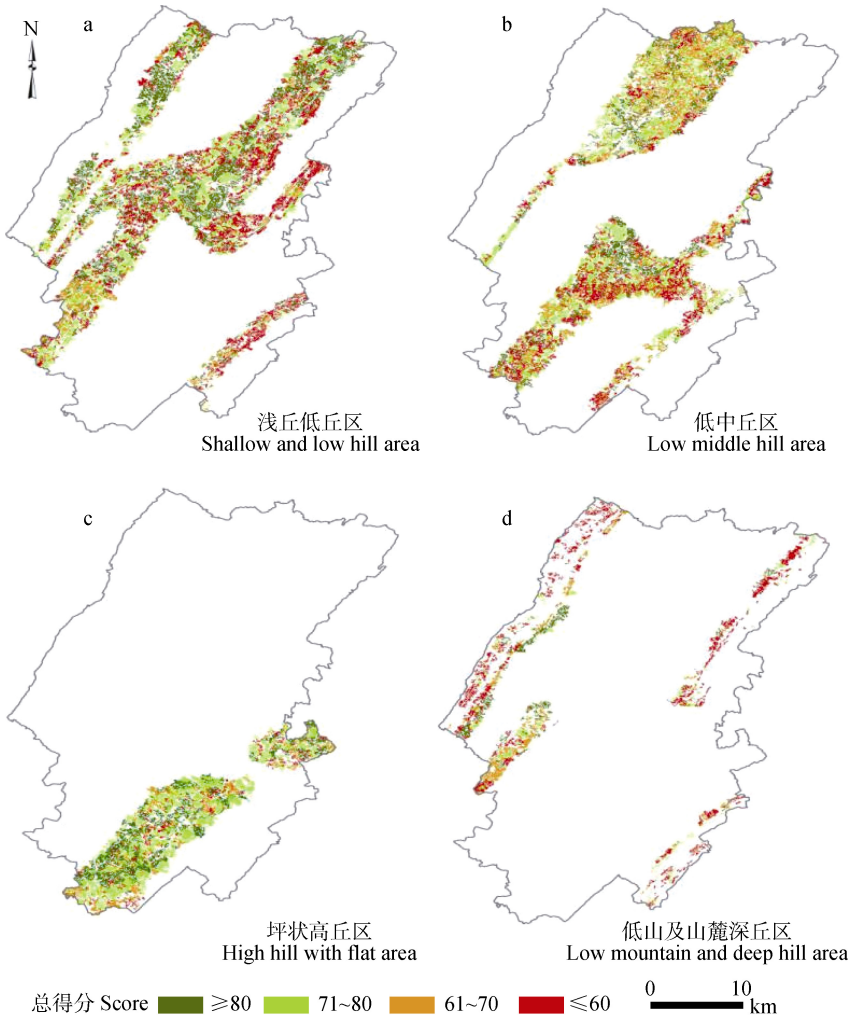

图 3 垫江县不同地貌类型区高标准农田建设潜力评价得分

Fig. 3 Evaluation scores of high-standard farmland construction potentiality of different landform areas in Dianjiang County

2.4 结合产业挖掘高标准农田建设潜力

依据《垫江县新农村总体规划》，垫江县是农业大县，拥有得天独厚的农业生产条件和农业资源，应按照因地制宜的原则，科学建设高标准农田，不仅要依据优劣因子，还要依据当地优势产业，合理规划高标准农田建设。1)浅丘低丘区属垫江县粮油主产区，区内农田主要用于高产、优质、高效的现代农业种植，高标准农田建设应与高效农业种植相适应，进行基本农田格条田整治，较大和较规整的田块有利于机械化作业。2)调研发现，低中丘区发展柑橘产业的优势明显，且已形成相对集中成片的柑橘种植态势，在高标准农田规划建设过程中，可围绕柑橘产业需求合理规划道路和排灌体系，完善立地条件，以吸引更多新型经营主体进入。相对平坦

的丘陵间水田, 可围绕粮油高效化种植进行条田整治, 以方便新型经营主体进行规模化种植。3)坪状高丘区以种养业、旅游休闲农业为主, 有大面积蔬菜基地, 种植优质反季菜、精品菜、耐贮菜以及无公害和营养保健蔬菜, 同时, 榨菜、中药材、藠头等种植成为其区域特色产业, 高标准农田的建设应围绕当地特色产业和主导产业布置, 合理规划排灌系统和田间道路等服务设施, 以提高农户和不同新型经营主体生产服务的便捷性和游客观感的满意度。此外, 区内部分地区具有种植水稻的传统, 但是水保条件较差, 容易因为灌排不畅影响水稻的产量, 这部分地区应科学规划灌排体系。4)低山及山麓深丘区虽然限制性因素多, 但以牡丹为代表的花卉种植业、农业观光旅游区、风情园、度假村疗养中心较多, 在该区域进行高标准农田建设时应围绕生态观光旅游, 改善排灌条件, 重点放在道路体系的规划建设上, 对道路进行整修、新修、硬化, 提高区域内部连通性, 以缓解交通运输效率不高给产业发展带来的影响, 方便产品的输出和观光游客进入, 增加农户收益。

3　结论

1)垫江县约 80%的基本农田具备建设高标准农田的潜力, 其中, 基本具备区占 28.57%, 稍加整治区占 24.13%, 全面整治区占 26.92%。地貌对高标准农田建设潜力影响显著, 浅丘低丘区建设潜力最佳, 低中丘区和坪状高丘区建设潜力相当, 低山及山麓深丘区建设潜力最差。

2)各地貌类型区高标准农田建设的限制性因子差异明显。浅丘低丘区建设高标准农田的限制因子较少; 低中丘区的限制因子是表层土壤厚度、土壤有机质含量、排灌条件; 坪状高丘区的限制因子是土壤有机质含量、排灌条件、田块到交通干线距离; 低山及山麓深丘区的限制因子是有效土壤厚度、土壤有机质含量、pH、排灌条件、田块到居民点距离、机耕能力。

3)资源决定产业, 整治服务产业, 土地整治要结合高标准农田建设限制因子和产业基础因地制宜。①浅丘低丘区以高产粮油为主导, 发展现代高效种植农业, 应进行格条田整治以实现高效化、机械化生产, 整治过程中, 注重提高土壤有机质含量、增加田间农田防护设施。②低中丘区在适合粮油生产的地区重点进行条田整治, 在适合柑橘等林果产业的地区重点规划道路和灌排体系, 并且注重提升土壤有机质含量、增加土层厚度。③坪状高丘区重点发展种养业和区域特色产业, 应重点改善土壤有机质含量, 且提高区域排灌和交通服务设施配套率。④低山及山麓深丘区以牡丹生态园为代表的旅游景区建设为依托, 发展生态观光旅游农业, 围绕产业改善土壤品质, 完善道路体系, 提高当地产品输出和游客进入的方便度。

高标准农田的建设是一项惠民工程, 纵观“十二五”期间高标准农田建设情况, 建设出现不少困境, 比如农户参与不够充分、建设资金整合难度大、工程质量不易保证、乡村生态环境没有得到重视、工程后期建设缺少管护等, 本文仅将着眼点放在高标准农田建设潜力分析方面, 而没有考虑和研究其他建设困境。此外, 本文仅停留在县域尺度基于地貌因子评价高标准农田的建设潜力, 这只能起到理论上建议的作用, 若要将差异化农地整治落实到实处, 需要基于更小的尺度, 如以乡镇为尺度来研究, 找出其建设高标准农田的限制性因子, 将更具有现实指导意义。因此, 今后工作的研究重点, 应缩小空间尺度, 基于前面建设过程中出现的问题, 做进一步研究, 以期为建设高标准农田提出更具有实践性的建议。

参考文献 References

[1] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 28407–2012 农用地质量分等规程[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People’s Republic of China (AQSIQ). GB/T 28407–2012 Regulation for Gradation on Agriculture Land Quality[S]. Beijing: China Standard Press, 2012

[2] 边振兴, 杨子娇, 钱凤魁, 等. 基于 LESA 体系的高标准基本农田建设时序研究[J]. 自然资源学报, 2016, 31(3): 436–446
BIAN Z X, YANG Z J, QIAN F K, et al. Study on time sequence of high-standard prime farmland based on LESA[J]. Journal of Natural Resources, 2016, 31(3): 436–446

[3] 龙花楼. 论土地整治与乡村空间重构[J]. 地理学报, 2013, 68(8): 1019–1028
LONG H L. Land consolidation and rural spatial restructuring[J]. Acta Geographica Sinica, 2013, 68(8): 1019–1028

[4] 陈然. 基于 GIS 的农村土地生态适宜性评价及应用研究——以义乌市岩南村为例[R]. 江苏: 南京农业大学, 2011
CHEN R. Rural land ecological suitability assessment and its application based on GIS: A case study of Yannan Village[R]. Jiangsu: Nanjing Agricultural University, 2011

[5] 钱凤魁, 王秋兵, 李娜, 等. 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, 31(18): 225–232
QIAN F K, WANG Q B, LI N, et al. High-standard prime

farmland planning based on evaluation of farmland quality and site conditions[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(18): 225–232

[6] TYLER M, HUNTER L, STEINER F, et al. Use of agricultural land evaluation and site assessment in Whitman County, Washington, USA[J]. Environmental Management, 1987, 11(3): 407–412

[7] PAŠAKARNIS G, MALIENE V. Towards sustainable rural development in central and eastern Europe: Applying land consolidation[J]. Land Use Policy, 2010, 27(2): 545–549

[8] 田玉福. 德国土地整理经验及其对我国土地整治发展的启示[J]. 国土资源科技管理, 2014, 31(1): 110–114
TIAN Y F. Implications of German land consolidation experience for Chinese land consolidation development[J]. Scientific and Technological Management of Land and Resources, 2014, 31(1): 110–114

[9] 伍新木, 杨莹. 日本国土开发利用及对我国的启示[J]. 中国人口·资源与环境, 2006, 16(4): 138–142
WU X M, YANG Y. Enlightenment of Japan's land utilization to China[J]. China Population, Resources and Environment, 2006, 16(4): 138–142

[10] 王东京, 孙浩, 林冰蓓. 法国农业现代化之路[J]. 农村工作通讯, 2012, (18): 63–64
WANG D J, SUN H, LIN B B. The way of agricultural modernization in France[J]. Rural Work Communication, 2012, (18): 63–64

[11] 王晨, 汪景宽, 李红丹, 等. 高标准基本农田区域分布与建设潜力研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(S2): 226–229
WANG C, WANG J K, LI H D, et al. Research on regional distribution and potentiality of high-standard basic farmland[J]. China Population, Resources and Environment, 2014, 24(S2): 226–229

[12] 崔勇, 刘志伟. 基于 GIS 的北京市怀柔区高标准基本农田建设适宜性评价研究[J]. 中国土地科学, 2014, 28(9): 76–81
CUI Y, LIU Z W. A GIS-based approach for suitability evaluation of high standard primary farmland consolidation: A case from Huairou in Beijing[J]. China Land Sciences, 2014, 28(9): 76–81

[13] 赵素霞, 牛海鹏, 张捍卫, 等. 基于生态位模型的高标准基本农田建设适宜性评价[J]. 农业工程学报, 2016, 32(12): 220–228
ZHAO S X, NIU H P, ZHANG H W, et al. Suitability evaluation on high quality capital farmland consolidation based on niche-fitness model[J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(12): 220–228

[14] 蔡朕, 刁承泰, 王锐, 等. 基于集对分析的高标准基本农田建设项目选址合理性评价——以重庆市梁平县为例[J]. 中国生态农业学报, 2014, 22(7): 828–836
CAI Z, DIAO C T, WANG R, et al. Evaluation of the reasonability of site selection for high quality capital farmland construction project based on set pair analysis[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2014, 22(7): 828–836

[15] 贾丽, 吴冰冰, 高泽崇, 等. 高标准基本农田建设时序安排研究——以河北省涿州市为例[J]. 中国生态农业学报, 2016, 24(9): 1265–1274
JIA L, WU B B, GAO Z C, et al. Time sequence of high-standard prime farmland construction — A case study of Zhuozhou City, Hebei Province[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2016, 24(9): 1265–1274

[16] 冯锐, 吴克宁, 王倩. 四川省中江县高标准基本农田建设时序与模式分区[J]. 农业工程学报, 2012, 28(22): 243–251
ENG R, WU K N, WANG Q. Time sequence and mode partition of high-standard prime farmland construction in Zhongjiang County, Sichuan Province[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(22): 243–251

[17] 边振兴, 刘琳琳, 王秋兵, 等. 基于 LESA 的城市边缘区永久基本农田划定研究[J]. 资源科学, 2015, 37(11): 2172–2178
BIAN Z X, LIU L L, WANG Q B, et al. Permanent prime farmland demarcation in urban fringes based on the LESA system[J]. Resources Science, 2015, 37(11): 2172–2178

[18] 信桂新, 杨朝现, 杨庆媛, 等. 用熵权法和改进 TOPSIS 模型评价高标准基本农田建设后效应[J]. 农业工程学报, 2017, 33(1): 238–249
XIN G X, YANG C X, YANG Q Y, et al. Post-evaluation of well-facilitied capital farmland construction based on entropy weight method and improved TOPSIS model[J]. Transactions of the CSAE, 2017, 33(1): 238–249

[19] 刘名冲, 刘瑞卿, 张路路, 等. 基于粒子群优化投影寻踪模型的土地整治综合效益评价研究[J]. 土壤通报, 2013, 44(5): 1047–1052
LIU M C, LIU R Q, ZHANG L L, et al. Comprehensive benefit evaluation of land consolidation based on projection pursuit model optimized by particle swarm optimization[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2013, 44(5): 1047–1052

[20] 杨伟, 谢德体, 廖和平, 等. 基于高标准基本农田建设模式的农用地整治潜力分析[J]. 农业工程学报, 2013, 29(7): 219–229
YANG W, XIE D T, LIAO H P, et al. Analysis of consolidation potential of agricultural land based on construction mode of high-standard basic farmland[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(7): 219–229

[21] 陈轼, 周兴. 基于 LESA 方法的基本农田补划潜力分析——以贵港市覃塘镇为例[J]. 现代农业科技, 2015, (22): 348–350
CHEN S, ZHOU X. Analysis on basic farmland designated fill potential based on LESA method: taking Qintang Town of Guigang City as an example[J]. Modern Agricultural Technology, 2015, (22): 348–350

[22] 龙雨涵, 杨朝现, 程相友, 等. 西南丘陵区高标准基本农田建设潜力测算及模式探讨[J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2014, 39(7): 144–150
LONG Y H, YANG C X, CHENG X Y, et al. On potential and construction-models of well-facilitated capital farmland construction in the southwest hilly area[J]. Journal of Southwest China Normal University: Natural Science Edition, 2014, 39(7): 144–150

[23] 钱凤魁, 张琳琳, 边振兴, 等. 高标准基本农田建设中的耕地质量与立地条件评价研究[J]. 土壤通报, 2015, 46(5):

1049–1055
QIAN F K, ZHANG L L, BIAN Z X, et al. Farmland natural quality evaluation and site assessment in the high-standard basic farmland construction[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2015, 46(5): 1049–1055

[24] 王东明. 粮食主产区农户耕地流转行为的影响因素研究[D]. 重庆: 西南大学, 2014
WANG D M. A study on farm household's willingness of farmland circulation in major grain-producing areas — Based on a survey of Shenqiu County in Henan Province[D]. Chongqing: Southwest University, 2014

[25] 罗明. 基于综合质量评价的高标准水田建设研究——以重庆市潼南区为例[D]. 重庆: 西南大学, 2016
LUO M. Research on the construction of well-facilitied paddy field based on comprehensive quality evaluation: A case study of Tongnan District, Chongqing[D]. Chongqing: Southwest University, 2016

[26] 唐秀美, 潘瑜春, 刘玉, 等. 基于四象限法的县域高标准基本农田建设布局与模式[J]. 农业工程学报, 2014, 30(13): 238–246
TANG X M, PAN Y C, LIU Y, et al. Layout and mode partition of high-standard basic farmland construction at county level based on four-quadrant method[J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(13): 238–246

[27] 王新盼, 姜广辉, 张瑞娟, 等. 高标准基本农田建设区域划定方法[J]. 农业工程学报, 2013, 29(10): 241–250
WANG X P, JIANG G H, ZHANG R J, et al. Zoning approach of suitable areas for high quality capital farmland construction[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(10): 241–250

[28] 邱勇. 潼南县红棕紫泥夹泥田水稻"3414"肥效试验初报[J]. 南方农业, 2012, 6(8): 28–30
QIU Y. The initial report of the fertilizer test of rice "3414" based on red brown purple clay soil in Tongnan County[J]. South China Agriculture, 2012, 6(8): 28–30

[29] 邱勇. 潼南县红棕紫泥夹泥土小麦"3414"肥效试验初报[J]. 南方农业, 2013, 7(4): 39–41
QIU Y. The initial report of the fertilizer test of wheat "3414" based on red brown purple clay soil in Tongnan County[J]. South China Agriculture, 2013, 7(4): 39–41

[30] 徐治信. 潼南县红棕紫泥夹泥土油菜"3414"肥效试验初报[J]. 南方农业, 2012, 6(6): 30–32
XU Z X. The initial report of the fertilizer test of oilseed rape "3414" based on red brown purple clay soil in Tongnan County[J]. South China Agriculture, 2012, 6(6): 30–32