

袁媛, 胡晓黎, 雷蕾, 张鸿雁, 常庆瑞. 基于 GIS 的秦岭山区县域耕地地力调查与评价研究 [J]. 广东农业科学, 2020, 47(7): 97-105.

基于 GIS 的秦岭山区县域耕地地力调查与评价研究

袁媛¹, 胡晓黎¹, 雷蕾¹, 张鸿雁¹, 常庆瑞²

(1. 商洛市气象局, 陕西 商洛 726000;

2. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要:【目的】通过建立秦岭山区县域耕地地力评价体系, 为该区土地利用的合理规划、保持生态平衡、确保耕地资源的可持续发展利用提供重要理论依据。【方法】以陕西省商洛市商南县为研究区域, 选取耕地基础设施、灌溉水平、土壤结构、类型、质地、地形地貌、全氮含量、速效钾含量、有机质含量、有效磷含量、海拔高度和坡度等 12 个参评因子, 应用 ArcMap10.2 软件, 对商南县土地利用现状图、土壤图、行政区划图进行叠加, 确定评价单元, 采用层次分析、专家经验等方法计算所选因子权重, 对研究区耕地地力进行评价。【结果】商南县耕地总面积 24 848.26 hm², 1~5 级耕地面积分别为 2 286.97、4 666.79、8 733.13、6 320.22 和 2 841.16 hm²。其中一、二级耕地主要集中分布在河谷川塬和浅山丘陵上, 三、四级耕地多分布在浅山丘陵和中山地貌上, 而五级地所处的坡度较大, 土壤表层质地疏松, 土体厚度、腐殖质层厚度均较低。【结论】灌溉能力、地貌类型、有机质、坡度为影响商南县耕地地力评价的主要因子, 改善这些因素是提高耕地生产地力主要途径。

关键词: 秦岭山区; 耕地地力评价; 参评因子; 评价研究; 地理信息系统 (GIS)

中图分类号: S158.3; S127

文献标志码: A

文章编号: 1004-874X (2020) 07-0097-09

Investigation and Evaluation of County-based Cultivated Land Capacity in Qinling Mountain Area Based on GIS

YUAN Yuan¹, HU Xiaoli¹, LEI Lei¹, ZHANG Hongyan¹, CHANG Qingrui²

(1. Meteorological Bureau of Shangluo City, Shangluo 726000, China;

2. College of Natural Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling 712100, China)

Abstract:【Objective】An evaluation system for county-based cultivated land capacity in Qinling mountain areas was established to provide important theoretical basis for the rational planning of land use, maintaining ecological balance and ensuring the sustainable development and utilization of cultivated land resources.【Method】Taking Shangnan County, Shangluo City, Shaanxi Province as the research area, 12 factors including farmland infrastructure, irrigation level, soil structure, type, texture, topography, total nitrogen, available potassium, organic matter, available phosphorus, altitude and slope were selected. The current land use map, soil map and administrative map of Shangnan County were superposed to determine the evaluation unit by using ArcMap10.2 software. Analytic hierarchy process, expert experience and other methods were adopted to calculate the weight of the selected factors, and the cultivated land capacity of the study area was

收稿日期: 2020-04-01

基金项目: 国家“863”计划项目 (2013AA102401); 国家“十二五”科技支撑计划项目 (2012BAH29B04); 陕西省耕地地力调查与质量评价项目

作者简介: 袁媛 (1988—), 女, 硕士, 工程师, 研究方向为 3S 技术在农业的应用, E-mail: 290975272@qq.com

通信作者: 常庆瑞 (1959—), 男, 硕士, 教授, 研究方向为土地资源与空间信息技术, E-mail: changqr@

nwsuaf.edu.cn

evaluated. 【Result】 The total cultivated land area of Shangnan County is 24 848.26 hm², and the areas of cultivated land of Grade 1-5 are 2 286.97, 4 666.79, 8 733.13, 6 320.22 and 2 841.16 hm², respectively. The cultivated land of Grade 1 and Grade 2 are mainly distributed in river valley, tableland and hilly areas, while the cultivated land of Grade 3 and Grade 4 are mainly distributed in shallow hilly areas and middle mountains. The soil surface texture of cultivated land of Grade 5 is loose, and the thickness of soil mass and humus layer are relatively low because of the large slope. 【Conclusion】 Irrigation capacity, geomorphic type, organic matter and slope are the main factors affecting the evaluation of cultivated land capacity in Shangnan County, therefore, the improvement of these factors is the main way to improve the cultivated land fertility in this area.

Key words: Qinling mountain area; cultivated land capacity evaluation; evaluation factors; geographic information system (GIS)

【研究意义】耕地作为农业生产最重要的资源之一，是人类生活及社会发展所依赖的物质基础，是否有效利用土地资源，对区域发展、人民生活水平的高低都有直接影响^[1-2]。但是在实际生产过程中，人们常常忽略耕地质量退化、产量变低等不利影响的本质原因，这对我国粮食生产安全和人们生活质量的保障构成严重威胁^[3-4]。

因此，十分有必要建立区域内科学的耕地地力水平评价体系，为土地利用的合理规划和保持生态平衡提供重要理论依据。【前人研究进展】近年来，众多国内外学者研究关于耕地利用变化、耕地数量变化、耕地潜力等因素与粮食安全之间的关系，随着科学技术的进步以及“3S”技术在农业生产中应用地不断加深，对耕地地力调查与评价研究越来越深入，在该领域研究方法上也不断更新。

【本研究切入点】以陕西省商南县为例，在全国第二次土壤普查^[5-6]基础上，通过对研究区耕地的地貌特征、土壤结构、养分状况等的调查，利用“3S”等现代科学技术手段，选取耕地地力评价单元，构建耕地资源基础数据库及管理系统，并划定等级，评价耕地地力水平^[7]。【拟解决的关键问题】本研究旨在实现不同等级土地的优化布局，进而指导高效农业生产、培肥土壤，提高研究区耕地资源的可持续发展利用^[8]。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

商南县座落在陕西省东南部(110° 24' ~ 111° 01'E, 33° 06' ~ 33° 44' N)，属秦岭东段南麓，3省交汇，地联8县，全县地势西南和北部高、东南和中部低，海拔落差较大，最高处2 057 m，最低处仅216.4 m。境内有丹江、县河、滔河、武关河等6条河流，均属汉江水系。县域内大部分

地区属暖温带气候，只有东南部为北亚热带气候，历年平均气温13.9℃，境内雨量充沛，年降水量862.4 mm，年日照时数1 675.5 h。土壤类型有棕壤、黄棕壤、新积土、潮土和紫色土。全县土地总面积2 307 km²，主要粮食作物为玉米、小麦、和马铃薯。

1.2 数据来源及评价数据库建立

本研究用于评价的基础资料包括商南县土地利用现状图(1:50 000)、土壤图(1:50 000)、地形图(1:50 000)数据，全国第二次土壤普查的土壤养分数据及相关文字记录资料，县域气候、基本农田及水利设施建设、土壤肥力、土地资源调查和农业生产统计资料等。同时，结合商南县耕地实际情况，收集野外调查资料，编制《采样点基本情况调查表》《农户收入支出情况调查表》《农户施肥调查表》，调查内容主要包括农田基础设施、耕作制度、土壤类型、土壤性状、农民种植业、作物品种、产量及投入产出等方面的情况。根据以上调查内容在全县耕地上共布设大田采样点1 444个，采样时利用GPS定位仪在取样点确定经纬度，按要求填写调查表格，并根据实地调查走访情况，对采样点位置不合理的情况进行更正。

利用ArcMap 10.2软件对所用的图件资料进行矢量化处理，对图片进行编辑、转换、空间分析、拓扑分析以后，定性及定量提取商南县耕地分布、面积等数据，制作输出耕地资源管理单元图；对整理的各种调查信息及采样数据、土肥化验结果等分类录入Microsoft Office 2010 Access，统一将这些数据使用dbf格式导入ArcGIS 10.2系统中，最终建立商南县耕地地力调查与评价数据库^[9]。

1.3 研究方法

本研究县域耕地地力评价技术路线见图1。

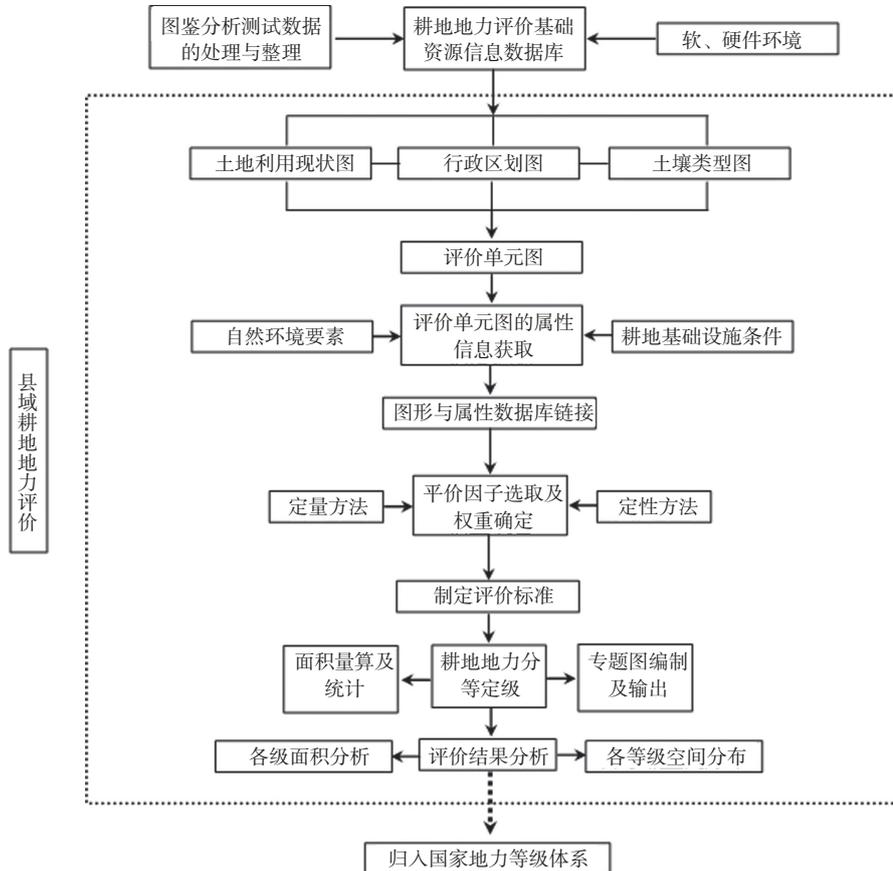


图 1 县域耕地地力评价技术路线图

Fig. 1 Technical roadmap of county-based cultivated land capacity evaluation

1.3.1 确定评价因子 耕地地力评价是对研究区域土壤理化性状、地形地貌特征等自然条件对农作物生长影响大小程度的评价。本研究经过实地调查,根据可操作性、稳定性、相关性、主导性等原则,聘请省、市、县三级农业专家,在全国耕地地力评价指标体系要求下,通过专家组投票方式确定最终指标。选择 12 个对耕地地力影响较大且适合当地土地资源实际情况的因素作为评价指标,包括与土壤管理相关的要素(耕地基础设施具体灌溉情况)、土壤(结构、类型、质地情况)、土壤养分含量(全氮、有效磷、速效钾、有机质含量)以及地形地貌条件(海拔高度、土地坡度、地貌特征)^[10]。

1.3.2 划分评价单元 为科学划分研究区耕地地力等级,将商南县土地利用现状图、土壤图、行政区划图在 Arc map10.2 软件中叠加形成的色斑图作为最终评价单元,三类图形的划分单元分别为二级利用类型、土种及镇一级,通过叠加,使得同一评价单元内的行政区域划分、土种类别及使用方式均达到一致,不同评价单元之间的可比

性和差异性则同时体现^[11-12]。

1.3.3 计算评价指标权重 不同评价指标对耕地地力评价结果反映土地质量的影响差异较大,各个因子之间相互影响、互相促进,因此应结合当地实际情况对所有选中指标赋予相应的权重^[13]。为保证评价的客观性、准确性、真实性,本研究利用层次分析法进行评价,将所选的 12 个评价因子按照隶属关系排成目标层 K(耕地地力)、准则层 M(有相似特征的要素)、指标层 N(参评因子) 3 个层次^[14-15]。专家组在层次结构图中依据上下两层对应的重要程度赋予评估值,再经过计算分析形成判断矩阵,根据矩阵可得到各因子的特征向量(即权重)^[16]。各指标的组合权重为 $M_i N_j$, M_i 为 M 层中决定矩阵的特征向量($i=1, 2, 3, 4$); N_j 指 N 层决定矩阵的特征向量($j=1, 2, \dots, 12$)。经计算,矩阵排列整体一致性较好,层次总排序、单排序及一致性检验的一致率(CR)均小于 0.1。权重匹配结果见表 1。

1.3.4 拟合隶属函数 根据所选的商南县耕地地力评价因子,结合模糊数学法,确定 3 种参评指

表 1 评价指标组合权重匹配结果

Table 1 Matching results of evaluation index combination weight

目标层 K Target level K	准则层 M Criterion level M	指标层 N Index level N	组合权重 Combination weight $\sum M_i N_j$
耕地地力 Cultivated land capacity	土壤管理 (M1) 0.1411	耕地基础设施 (N1) 0.3333	0.0534
		灌溉能力 (N2) 0.6667	0.1004
	剖面构造 (M2) 0.1411	土壤结构 (N3) 0.1638	0.0294
		类型 (N4) 0.2973	0.0482
		质地 (N5) 0.5390	0.0824
	土壤养分 (M3) 0.4231	全氮 (N6) 0.2272	0.0661
		速效钾 (N7) 0.2272	0.0661
		有机质 (N8) 0.4231	0.1176
		有效磷 (N9) 0.1225	0.0385
	地形条件 (M4) 0.4547	海拔 (N10) 0.1667	0.0821
		坡度 (N11) 0.3333	0.1579
		地貌类型 (N12) 0.3333	0.1579

标与耕地生产关系的函数模型,分别为概念型(耕地基础设施、灌溉水平、土壤结构、类型、质地、地形地貌)、戒上型(全氮、速效钾、有机质、有效磷)、直线型(海拔高度和坡度),将后两

种模型的因子进行回归分析,建立拟合函数模型,通过精度检验,置信水平达到显著的可进行隶属度计算(表2)。同时,通过经验法给出评价因素相应的指标值与评估值^[17-19],结果见表3。最后,

表 2 所选因子类型及其隶属函数

Table 2 Types of selected factors and the membership function

函数类型 Function type	因子 Factor	U_m	C	隶属函数 Membership function
戒上型 Upper ring type	全氮	-0.11	1.33	$Y=1/[1+4.375862 \times (u-c)^2]$
	速效钾	-24.48	199.13	$Y=1/[1+0.000180 \times (u-c)^2]$
	有机质	-1.26	24.17	$Y=1/[1+0.013926 \times (u-c)^2]$
	有效磷	-9.72	39.60	$Y=1/[1+0.003700 \times (u-c)^2]$
直线型 Linear type	海拔高度	$Y=0$	$X=2042.79$	$Y=1.248142-0.000611x$
	坡度	$Y=0$	$X=40.35$	$Y=1.002535-0.024848x$

注: U_m 和 C 分别表示隶属函数中不同因子的最小值和最佳值。

Note: U_m and C represent the minimum and optimum values of different factors in the membership function, respectively.

表 3 数量型参评因子专家评估值

Table 3 Expert evaluation value of quantitative participation factors

参评因子 Evaluation factor	指标值 Index value	专家评估值(分值) Expert evaluation value (Score)	参评因子 Evaluation factors	指标值 Index value	专家评估值(分值) Expert evaluation value (Score)
全氮 Total nitrogen (g/kg)	0.5	0.2	有效磷 Available phosphorus (mg/kg)	10	0.2
	0.6	0.3		15	0.3
	0.9	0.6		25	0.6
	1.2	0.9		35	0.9
	1.3	1.0		40	1.0
速效钾 Available potassium (mg/kg)	70	0.2	海拔高度 Altitude (m)	500	1.0
	90	0.3		600	0.9
	130	0.6		900	0.6
	180	0.9		1500	0.3
	200	1.0		1800	0.2
有机质 Organic matter (g/kg)	10	0.2	坡度 Slope	1°	1°
	12	0.3		5°	0.9°
	16	0.6		15°	0.6°
	22	0.9		25°	0.3°
	25	1.0		35°	0.2°

根据不同评价因子与耕地地力等级的相关性,对概念型因子直接赋予隶属度值^[20](表4)。

表4 专家组评估非数量型参评因子隶属度值
Table 4 Membership value of non-quantitative type factors evaluated by expert group

参评因子 Evaluation factors	指标 Index	评估值 Evaluation value
耕地基础设施 Cultivated land infrastructure	不配套	0.3
	基本配套	0.6
	配套	0.8
灌溉水平 Irrigation level	无灌	0.3
	可灌	0.6
	能灌	0.8
土壤构成 Soil composition	团块状	0.9
	棱柱状	0.5
	棱块状	0.6
	团块状	0.9
	核状	0.8
	粒状	0.4
类型 Type	A-BC-C	0.9
	A-B-C	0.95
	A-P-B-C	1
质地 Texture	重壤	0.9
	粘壤	0.6
	砂壤	0.5
	轻壤	0.7
地貌类型 Geomorphie type	中山地貌	0.4
	浅山丘陵	0.7
	河谷川塬	1

1.3.5 耕地地力综合指数 (IFI) 的计算 本研究利用加法模型计算 IFI^[21], 对商南县耕地地力进行评价, 公式如下:

$$IFI = \sum F_i \times C_i \quad (i=1, 2, 3, \dots, n)$$

式中, F_i 为第 i 个指标的隶属度, C_i 为第 i 个指标的组权重。最后, 利用耕地资源管理信息系统中的模块, 计算得出商南县 IFI 最小值为 0.5261703, 最大值为 0.862222。

1.4 耕地地力综合指数分级

在商南县耕地地力评价中, 根据 IFI 累积频率曲线图与实际样点数, 将累积曲线波动剧烈的拐点值作为各个等级的分级指标^[22], 将商南县耕地地力分为 5 个等级: 一级地, $IFI > 0.75$; 二级地, $0.7 < IFI \leq 0.75$; 三级地, $0.65 < IFI \leq 0.7$; 四级地, $0.6 < IFI \leq 0.65$; 五级地, $IFI \leq 0.6$ 。

2 结果与分析

基于耕地地力评价手段, 利用 Arcmap10.2 软件的反距离加权法 (IDW) 对采样点的 IFI 进行空间插值, 并根据分级标准对从土地利用现状图中提取的耕地进行计算, 获取各评价等级耕地的面积及空间分布情况^[23]。

商南县及各镇不同耕地地力水平面积统计结果见表 5。研究区总耕地面积 24 848.26 hm², 占全县土地面积的 10.77%, 其中一级地 2 286.97 hm²、占总耕地面积的 12.19%, 二级地 4 666.79 hm²、占 17.49%, 三级地 8 733.13 hm²、占 32.28%, 四级地 6 320.22 hm², 占 25.10%, 五级地 2 841.16 hm²、占 12.93%。

从评价结果 (表 5) 可以看出, 商南县耕地地力等级与坡度、土壤构造、地貌类型均密切相关, 具有明显的地域分布特征。随着地力水平的变化, 地貌类型从较为平坦的坡塬地和在沟底的沟谷地过渡到高程较高的山地和洪积 (或新冲积) 形成的滩地, 不同类型地貌上各地力等级的耕地面积及占比见表 6。

2.1 一级地地力调查评价

从表 7 可以看出, 商南县一级地面积 2 286.97 hm², 占研究区耕地面积的 12.19%, 全县各镇均有分布, 主要集中在城关镇和试马镇。地貌类型分布特征是主要集中在河谷川塬上, 其余则在浅山丘陵上, 其中河谷川塬上的一级地有 1 760.76 hm²、占一级地总面积的 76.99%, 浅山丘陵有 526.30 hm²、占 24.03%; 面积较大的土壤类型为黄棕壤, 有 1 753.31 hm²、占一级地的 76.67%; 且一级地坡度较小, 大多分布在 15° 以下, 仅有少量地块坡度略超过 15°, 无明显土壤侵蚀现象, 土壤养分含量较高。一级地地势平坦、土层深厚、土壤养分含量高、水土流失较轻, 多数地区灌溉条件好, 有较高生产力, 适宜多种作物的生长。但部分地方易受干旱威胁, 在生产上存在肥力后劲不足问题, 因此应增施有机肥料, 提高土壤抗旱续墒和保肥能力, 改善土质结构。在耕种过程中, 出现重复开垦、不注重养护等问题, 建议合理规划轮作制度、科学使用配方施肥、改善和加强土壤肥力。

2.2 二级地地力调查评价

商南县二级地面积 4 666.79 hm², 占研究区耕地面积的 17.49%, 各镇均有分布, 主要集中在

表 5 商南县不同地力等级的耕地面积及占比

Table 5 Cultivated land area and proportion of different land grades in Shangnan county

镇别 Town	一级地 Grade 1		二级地 Grade 2		三级地 Grade 3		四级地 Grade 4		五级地 Grade 5		合计 Total	
	面积 Area (hm ²)	占比 Proportion (%)										
全县总计 Total of the county	2286.97	12.19	4666.79	17.49	8733.13	32.28	6320.22	25.10	2841.16	12.93	24848.26	100.00
白浪 Bailang	24.66	4.83	131.37	17.87	389.34	46.38	131.19	21.26	46.62	9.66	723.18	2.64
城关 Chengguan	499.45	22.16	1053.66	26.04	1171.34	29.73	505.13	14.22	178.02	7.85	3407.60	13.80
富水 Fushui	308.09	13.82	447.54	17.94	1267.36	32.85	825.76	26.79	260.13	8.61	3108.88	10.51
过风楼 Guofenglou	214.83	14.31	207.86	14.71	683.65	37.65	437.71	30.20	40.61	3.14	1584.66	6.50
金丝峡 Jinsixia	251.54	13.75	237.84	8.68	874.57	32.58	812.31	31.11	253.03	13.89	2429.29	9.54
青山 Qingshan	114.65	7.74	208.79	15.91	449.42	32.04	580.63	38.71	34.34	5.59	1387.84	5.93
清油河 Qingyouhe	146.88	12.69	292.42	18.18	544.89	35.04	392.02	27.84	53.89	6.25	1430.09	6.73
十里坪 Shiliping	124.73	4.08	418.08	13.23	463.99	17.71	669.48	18.61	1464.75	46.37	3141.03	12.81
试马 Shima	319.58	15.99	537.91	16.24	713.78	27.43	998.19	34.81	95.93	5.54	2665.39	10.36
水沟 Shuigou	35.09	4.86	191.62	14.89	676.00	55.02	153.92	17.63	47.10	7.60	1103.73	4.19
魏家台 Weijiatai	13.47	2.44	217.57	16.26	404.88	35.77	336.07	26.83	199.14	18.70	1171.12	4.70
湘河 Xianghe	70.82	7.58	336.00	20.78	635.27	43.51	295.70	26.41	9.67	1.73	1347.46	5.89
赵川 Zhaochuan	163.19	16.50	386.13	25.05	458.63	31.61	182.11	17.50	157.93	9.34	1347.99	6.41

表 6 商南县不同类型地貌上各地力等级耕地面积及占比

Table 6 Cultivated land area and proportion of different land grades in different geomorphic types in Shangnan county

等级 Grade	浅山丘陵 Shallow hills		河谷川塬 River valley area		中山地貌 Mid-mountain landscape	
	耕地面积 Area of cultivated land (hm ²)	占比 Proportion (%)	耕地面积 Area of cultivated land (hm ²)	占比 Proportion (%)	耕地面积 Area of cultivated land (hm ²)	占比 Proportion (%)
一级地 Grade 1	526.30	24.03	1760.67	75.97	0	0
二级地 Grade 2	4502.19	92.64	156.63	6.92	7.96	0.44
三级地 Grade 3	8619.75	97.24	20.02	0.79	93.36	1.97
四级地 Grade 4	5399.22	86.70	3.48	0.15	917.52	13.15
五级地 Grade 5	717.53	30.44	0	0	2123.62	69.56
合计 Total	19765.00	76.22	1940.80	10.77	3142.47	13.01

表 7 商南县不同地力等级耕地土壤养分含量

Table 7 Soil nutrient content of different land grades in Shangnan County

等级 Grade	全氮 Total nitrogen (g/kg)		速效钾 Available potassium (mg/kg)		有机质 Organic matter (g/kg)		有效磷 Available phosphorus (mg/kg)	
	范围 Range	平均值 Average value	范围 Range	平均值 Average value	范围 Range	平均值 Average value	范围 Range	平均值 Average value
一级地 Grade 1	0.60~1.40	0.90	86.00~166.00	120.60	10.80~27.90	16.80	16.10~43.20	28.50
二级地 Grade 2	0.60~1.40	0.96	84.00~161.00	120.49	10.70~28.60	17.79	15.20~47.60	28.36
三级地 Grade 3	0.58~1.44	0.95	85.00~173.00	119.50	10.90~28.50	17.19	12.60~49.30	26.79
四级地 Grade 4	0.59~1.44	0.94	85.00~172.00	117.82	10.30~28.30	17.19	10.80~45.00	26.28
五级地 Grade 5	0.60~1.40	0.97	86.00~158.00	115.59	10.40~28.60	18.08	15.20~43.00	23.79

城关镇和富水镇。其中，分布在浅山丘陵上的面积有 4 502.19 hm²、占二级地 96.47%，河谷川塬有 156.63 hm²、占 3.36%，中山地貌中的二级地占比最小、只有 7.96 hm²，占 0.17%；土壤类型主要为黄棕壤，面积为 4 340.03 hm²，占二级地的

93.00%，土壤养分含量仍较高（表 7）。分布在二级地的地势也比较平缓，坡度落差不大，土体较厚，水土流失较轻，但部分田块灌溉条件欠佳，生产性能比一级地低。部分地块的土种（如泥潮土），质地粘重、通透性较差，在干旱时节常出

现龟裂、雨季积水成涝、耕种易起泥条、限制生产力等问题。因此,需要设法排水除涝,掺沙改善土壤构造,加施有机肥,增强团粒结构,进行土壤培肥与改良等^[24]。

2.3 三级地地力调查评价

商南县三级地面积 8 733.13 hm², 占研究区耕地面积的 32.28%, 各镇均有分布, 主要集中在城关镇、富水镇和金丝峡镇。其中, 分布在浅山丘陵上的有三级地 8 619.75 hm²、占 98.70%, 中山地貌 93.36 hm²、占 1.07%, 河谷川塬仅 20.02 hm²、占 0.23%; 土壤类型主要为黄棕壤, 面积为 7 724.66 hm²、占 88.45%, 土壤养分含量略低于前一、二级地(表 7)。三级地的坡地耕地面积较前一、二级增多, 坡度和水土流失增大, 土壤腐殖质层、有效土层的厚度有所降低, 且无灌溉能力的耕地面积增加, 耕地生产力因此下滑, 可通过平整土地、改善土体厚度、增强土壤肥力、提高蓄水保墒能力、防止水土流失、增建灌溉设施等措施, 逐步建成高产旱作基本农田。

2.4 四级地地力调查评价

商南县四级地面积 6 320.22 hm², 占研究区耕地面积的 25.10%, 各镇均有分布, 主要集中在试马镇、金丝峡镇和富水镇。其中, 分布在浅山丘陵上的面积最大、有 5 399.22 hm²、占四级地 85.43%, 中山地貌有 917.52 hm²、占 14.52%, 河谷川塬的分布最少、只有 3.48 hm²、占 0.05%; 土壤类型主要是黄棕壤, 面积为 4 964.54 hm²、占四级地的 78.55%(表 7)。四级地的生产性能中等, 耕地坡度、水土流失情况继续增强, 肥力减弱, 土层变薄, 大部分耕地无灌溉能力, 严重影响生产性能。因此, 可进行修建梯田、引水防旱、培肥土壤, 提高灌溉能力及土壤湿度, 逐步建成稳产旱作基本农田。

2.5 五级地地力调查评价

商南县五级地面积 2 841.16 hm², 仅占研究区耕地面积的 12.93%, 各镇均有分布, 但主要集中在十里铺镇。其中, 分布在中山地貌上有 2 123.62 hm²、占 74.75%, 浅山丘陵分布的五级地有 717.53 hm²、占 25.25%; 土壤类型主要是黄棕壤, 面积为 1 742.37 hm²、占 61.33%(表 7)。五级地所处的坡度多数较大, 土壤表层质地疏松, 易导致水土流失, 土体厚度、腐殖质层厚度均较低, 生产性能中等偏下。对于小于

15° 的坡耕地, 可通过粮草轮作、增施有机肥, 提高土壤养分, 防止水土流失, 建设农田基础设施, 提高耕地生产能力, 逐步改良为旱作基本农田。对于大于 15° 的坡耕地, 应全部退耕还林还草。

3 讨论

本研究在保护秦岭生态和发展高效农业、助力脱贫攻坚的大背景下, 以地处秦岭东段南麓的陕西省商南县作为研究区, 建立秦岭山区县域耕地地力评价体系, 通过对评价指标组合权重匹配结果的分析比较, 发现灌溉能力、地貌类型、有机质、坡度为影响商南县耕地地力评价的主要因子。这些自然条件会限制土层结构、土壤蓄水能力, 影响农业生产性能, 因此, 改善这些因素是提高本区耕地生产地力主要途径。研究表明, 商南县地力较好的耕地主要集中分布在低海拔(800 m)以下较平坦的川道、丘陵地带, 此区土层深厚, 土壤养分含量高, 水土流失较轻, 多数地区灌溉条件好, 是商南县高产田的主要分布区域, 也是科管条件较好, 人为干预较多的地区。三、四级耕地多分布在海拔 800~1 200 m 之间的中高山区, 此区海拔较高, 坡度增大, 水分涵养能力较差, 土壤肥力脊薄, 交通不便, 人为管理难度大的区域。后期可通过加强基础设施建设, 加大科技投入, 提高科管水平, 更换种植方式(间作、轮作、套种等), 改善土体结构, 增强土壤肥力, 增建灌溉设施等措施提高耕地地力生产水平。五级地所处坡度较大, 一般海拔在 1 200 m 以上、交通极为不便、人为影响较小的区域, 此区土壤表层板结, 土层薄、腐殖质层厚度均较低, 无灌溉条件, 管理难度较大, 只能采取自然耕作的方式, 靠天吃饭。大于 15° 的坡耕地已不适合耕种, 应全部退耕还林还草。分析发现县域耕地地力固然与海拔、地形地貌等自然因素有关, 但可以通人工干预改变或提高地力, 随着现代科学管理水平的提高, 耕作方式、种植制度等人为因素对耕地地力也存在一定影响, 本研究没有作深入探讨, 这为以后研究提出了新的方向。

4 结论

本研究选取土壤管理相关的要素、土体构造、土壤养分含量以及地形地貌条件等 4 个方

面中与耕地地力相关性大且可操作性、稳定性和主导性都较好的12个指标作为参评指标,构建耕地地力优劣评价指标体系,对陕南山区县域耕地地力进行分级。结果表明,商南县耕地总面积24 848.26 hm²,1~5级耕地面积分别为2 286.97、4 666.79、8 733.13、6 320.22、2 841.16 hm²。其中一、二级耕地主要集中分布在海拔800 m以下的河谷川塬和浅山丘陵地带,三、四级耕地多分布在海拔800~1 200 m之间的浅山丘陵和中山地貌上,而五级地位于海拔1 200 m以上的山坡或高山上。建议通过改善影响地力的主要因子来提高地力,为区域内土地合理利用规划、农业生产经营、生态平衡保护、耕地资源的可持续发展提供保障。

参考文献 (References) :

- [1] 张龙. 阿勒泰市耕地利用变化的生态效应分析[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2013. doi: 10.7666/d.D368641.
ZHANG L. Analysis of ecological effect on the change of cultivated land in Altay City [D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2013. doi: 10.7666/d.D368641.
- [2] 任家强, 汪景宽, 李双异, 才华. 辽西阜蒙县耕地地力定量评价研究[J]. 土壤通报, 2010, 41(6): 1294-1298. doi: 10.19336/j.cnki.trtb.2010.06.003.
REN J Q, WANG J K, LI S Y, CAI H. A study on evaluation of cultivated land fertility for Fumeng county region of northwest Liaoning province [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2010, 41(6): 1294-1298. doi: 10.19336/j.cnki.trtb.2010.06.003.
- [3] 宋榕潮, 杨木壮. 基于限制性因子的耕地后备资源宜耕性评价——以广东省阳江市为例[J]. 广东农业科学, 2017, 44(6): 145-151. doi: 10.16768/j.issn.1004-874X.2017.06.022.
SONG R C, YANG M Z. Cultivation suitability evaluation of cultivated land reserve resources based on restrictive factors—A case study in Yangjiang, Guangdong province [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2017, 44(6): 145-151. doi: 10.16768/j.issn.1004-874X.2017.06.022.
- [4] VERBURG P H, VELDKAMP T A, BOUMMA J. Land use change under conditions of high population pressure: the case of Java [J]. *Global Environmental Change*, 1999, 9: 303-312. doi: 10.1016/S0959-3780(99)00175-2.
- [5] 宁振亚. 全国土壤普查科研取得成果[J]. 土壤通报, 1981(1): 31-42.
NING Z Y. Achievements in national soil survey and scientific research [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 1981(1): 31-42.
- [6] 唐近春. 全国第二次土壤普查与土壤肥料科学的发展[J]. 土壤学报, 1989, 26(3): 234-240.
TANG J C. The second national soil survey and the development of soil and Fertilizer Science [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 1989, 26(3): 234-240.
- [7] 何尹杰, 吴大放, 刘艳艳, 梁达维, 陈震霖. 珠海市1982—2009年耕地质量时空演变分析[J]. 广东农业科学, 2017, 44(2): 86-94. doi: 10.16768/j.issn.1004-874X.2017.02.014.
HE Y F, WU D F, LIU Y Y, LIANG D W, CHEN Z L. Spatio-temporal evolution of cultivated land quality in Zhuhai during 1982-2009 [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2017, 44(2): 86-94. doi: 10.16768/j.issn.1004-874X.2017.02.014.
- [8] 邵新娟, 张永福, 陈文倩, 郑丽, 唐利华, 张馨文. 基于县域耕地综合质量分区的基本农田划定研究[J]. 广东农业科学, 2015, 42(22): 175-180. doi: 10.16768/j.issn.1004-874X.2015.22.030.
SHAO X J, ZHANG Y F, CHEN W Q, ZHENG L, TANG L H, ZHANG X W. Study on basic farmland delineation based on comprehensive quality division of county cultivated land [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2015, 42(22): 175-180. doi: 10.16768/j.issn.1004-874X.2015.22.030.
- [9] 陈涛, 常庆瑞, 刘京, 刘梦云, 齐雁冰. 基于GIS的黄土台塬区县域耕地生产潜力评价研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2013, 41(1): 109-117. doi: 10.13207/j.cnki.jnwafu.2013.01.004.
CHEN T, CHANG Q R, LIU J, LIU M Y, QI Y B. Evaluation of productive potentials of farmlands in tableland and region on the Loess Plateau based on GIS [J]. *Journal of Northwest A & F University (Nat. Sci. Ed.)*, 2013, 41(1): 109-117. doi: 10.13207/j.cnki.jnwafu.2013.01.004.
- [10] 朱海娣, 王丽, 马友华, 王静. 基于GIS的合肥市耕地地力评价[J]. 中国农业资源与区划, 2019, 40(8): 64-73. doi: 10.7621/cjarrp.1005-9121.20190808.
ZHU H D, WANG L, MA Y H, WANG J. Research on evaluation of cultivated land productivity of Hefei City based on GIS [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2019, 40(8): 64-73. doi: 10.7621/cjarrp.1005-9121.20190808.
- [11] 林碧珊, 汤建东, 张满红. 广东省耕地地力等级研究与评价[J]. 生态环境, 2005, 14(1): 145-149. doi: 10.3969/j.issn.1674-5906.2005.01.031.
LIN B S, TANG J D, ZHANG M H. Study and evaluation of cultivated land fertility grade in Guangdong province [J]. *Journal of Ecological Environment*, 2005, 14(1): 145-149. doi: 10.3969/j.issn.1674-5906.2005.01.031.
- [12] 王巧云, 王会宁, 孙峰. 合阳县耕地苹果种植适宜性评价[J]. 天津农业科学, 2012, 18(5): 67-70. doi: 10.3969/j.issn.1006-6500.2012.05.01.
WANG Q Y, WANG H N, SUN F. Suitability evaluation of Heyang arable land for planting apples [J]. *Tianjin Agricultural Sciences*, 2012, 18(5): 67-70. doi: 10.3969/j.issn.1006-6500.2012.05.01.
- [13] 何有富, 李淑杰, 姬冬梅, 吴东辉, 刘兆顺, 解小雨. 耕地地力评价与农用地分等的比较研究——以吉林省九台市为例[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(33): 11921-11924. doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2014.33.109.
HE F Y, LI S J, JI D M, WU D H, LIU Z S, XIE X Y. Comparative study

- between the soil fertility evaluation of cultivated land and the gradation on agricultural land—A case of Jiutai city, Jilin province [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2014, 42 (33): 11921–11924. doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2014.33.109.
- [14] 钟德卫, 张连英, 邓长香, 康祝科, 姚良润, 田晓曦, 陈乾昭. 基于 GIS 的金沙江流域耕地地力评价——以云南省绥江县为例 [J]. *中国农业资源与区划*, 2016, 37 (1): 9–16. doi: 10.7621/cjarrp.1005-9121.20160102.
- ZHONG D W, ZHANG L Y, DENG C X, KANG Z K, YAO L R, TIAN X X, CHEN Q Z. Evaluation of cultivated land fertility of Jinsha River Basin based on GIS—Taking Yunnan province of Suijiang county as an example [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2016, 37 (1): 9–16. doi: 10.7621/cjarrp.1005-9121.20160102.
- [15] 谢叶伟, 赵军, 李勇, 阎凤学, 张久明. 基于 GIS 的典型黑土区海伦市耕地地力评价研究 [J]. *干旱区地理*, 2011, 34 (2): 325–330. doi: 10.13826/j.cnki.cn65-1103/x.2011.02.018.
- XIE Y W, ZHAO J, LI Y, YAN F X, ZHANG J M. Assessment of cropland productivity based on GIS for typical blacksoil region at Hailun County [J]. *Arid Land Geography*, 2011, 34 (2): 325–330. doi: 10.13826/j.cnki.cn65-1103/x.2011.02.018.
- [16] 李刚, 李建平, 孙晓蕾, 赵萌. 主客观权重的组合方式及其合理性研究 [J]. *管理评论*, 2017, 29 (12): 17–26, 61. doi: 10.14120/j.cnki.cn11-5057/f.2017.12.002.
- LI G, LI J P, SUN X L, ZHAO M. Research on the combination of subjective and objective weights and its rationality [J]. *Business Review*, 2017, 29 (12): 17–26, 61. doi: 10.14120/j.cnki.cn11-5057/f.2017.12.002.
- [17] 同一凡, 刘建立, 张佳宝. 耕地地力评价方法及模型分析 [J]. *农业工程学报*, 2014, 30 (5): 204–210. doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2014.05.
- YAN Y F, LIU J L, ZHANG J B. Evaluation method and model analysis for productivity of cultivated land [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2014, 30 (5): 204–210. doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2014.05.
- [18] 冯文韬. 基于 GIS 的区域耕地地力评价指标体系建立——以荆州市为例 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2011. doi: 10.7666/d.Y2004342.
- FENG W T. Establishment of regional cultivated land productivity evaluation index system based on GIS—A case study of Jingzhou City [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2011. doi: 10.7666/d.Y2004342.
- [19] 查海涅, 汪建飞, 张振国, 张伟, 吴言柱, 田小塞, 邹长明. 基于 GIS 的蚌埠市淮上区耕地地力等级评价 [J]. *土壤*, 2015, 47 (5): 1001–1006. doi: 10.13758/j.cnki.tr.2015.05.030.
- ZHA H N, WANG J F, ZHANG Z G, ZHANG W, WU Y Z, TIAN X S, ZOU C M. Evaluation of cultivated land fertility grade in Huaishang district of Bengbu city based on GIS [J]. *Soils*, 2015, 47 (5): 1001–1006. doi: 10.13758/j.cnki.tr.2015.05.030.
- [20] 陈初红, 邹忠, 周鹤. 耕地地力评价因子权重及隶属度的确定 [J]. *现代农业科技*, 2011 (12): 280–281. doi: 10.3969/j.issn.1007-5739.2011.12.186.
- CHEN C H, ZOU Z, ZHOU H. Determination of weight and membership degree of cultivated land fertility evaluation factors [J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2011 (12): 280–281. doi: 10.3969/j.issn.1007-5739.2011.12.186.
- [21] 盛艳, 姚云峰, 秦富仓, 牟小东. 基于 GIS 的耕地地力等级划分研究 [J]. *干旱区资源与环境*, 2014, 18 (6): 27–31. doi: 10.13448/j.cnki.jalre.2014.06.004.
- SHENG Y, YAO Y F, QIN F C, MU X D. Gradation of the cropland productivity based on GIS technique [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2014, 18 (6): 27–31. doi: 10.13448/j.cnki.jalre.2014.06.004.
- [22] 姜婷婷, 谷海斌, 盛建东. 基于 GIS 技术的耕地地力评价研究——以新疆轮台县为例 [J]. *新疆农业科学*, 2014, 51 (2): 375–383. doi: 10.6048/j.issn.1001-4330.2014.02.026.
- JIANG T T, GU H B, SHENG J D. Evaluation of cultivated land fertility based on GIS technology—Taking Luntai county in Xinjiang as an example [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2014, 51 (2): 375–383. doi: 10.6048/j.issn.1001-4330.2014.02.026.
- [23] 许涛, 韦翠恋, 高海真. 基于 GIS 的巴马县耕地地力评价研究 [J]. *现代农业科学*, 2014 (19): 204–206. doi: 10.3969/j.issn.1007-5739.2014.16.132.
- XU T, WEI C L, GAO H Z. Evaluation of cultivated land fertility in Bama County based on GIS [J]. *Modern Agricultural Science*, 2014 (19): 204–206. doi: 10.3969/j.issn.1007-5739.2014.16.132.
- [24] 孙波, 陆雅海, 张旭东, 卢升高, 韦革宏, 杨劲松, 朱安宁, 刘满强, 段英华. 耕地地力对化肥养分利用的影响机制及其调控研究进展 [J]. *土壤*, 2017, 49 (2): 209–216. doi: 10.13758/j.cnki.tr.2017.02.001.
- SUN B, LU Y H, ZHANG X D, LU S G, WEI G H, YANG J S, ZHU A N, LIU M Q, DUAN Y H. Research progress on impact mechanisms of cultivated land fertility on nutrient use of chemical fertilizers and their regulation [J]. *Soils*, 2017, 49 (2): 209–216. doi: 10.13758/j.cnki.tr.2017.02.001.

(责任编辑 邹移光)