

网络出版时间:2014-02-28 13:13

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.03.028

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.03.028.html>

基于 GIS 的陕西省定边县耕地种植玉米适宜性评价

王路明,常庆瑞,白雪娇

(西北农林科技大学 资源环境学院,陕西 杨凌 712100)

【摘要】【目的】对陕西定边县耕地种植玉米的适宜性进行评价,旨在为耕地的科学管理及可持续利用提供参考依据。【方法】以地处黄土高原与鄂尔多斯荒漠草原连接的陕西省定边县为例,通过野外调查与室内分析,在 GIS 技术的支持下,将土壤图、土地利用现状图和行政区划图叠加确定评价单元,结合层次分析法、模糊评价法等数学方法,从土壤管理、土壤养分、土壤性质、立地条件 4 个方面共选取 10 项指标,对定边县耕地种植玉米适宜性进行了定量评价,并分析了影响该地区耕地种植玉米适宜性的主要指标。【结果】陕西省定边县耕地种植玉米适宜性可分为最适宜、适宜、次适宜和不适宜 4 个等级,玉米种植最适宜区、适宜区、次适宜区和不适宜区的面积分别为 53 185.64, 121 634.76, 57 681.57 和 10 801.20 hm^2 , 分别占耕地总面积的 21.86%, 49.99%, 23.71% 和 4.44%; 通过层次分析法的组合权重可知,坡度、地貌类型、灌溉能力、土壤质地、有机质和碱解氮为影响该地区耕地种植玉米适宜性的重要指标。【结论】陕西省定边县耕地总体上比较适宜种植玉米,次适宜耕地可以通过改造提高种植玉米的适宜性,不适宜的耕地可以从事其他作物的种植或用作他用。

【关键词】 GIS; 空间分布; 耕地; 玉米种植; 适宜性评价; 复杂地貌; 陕西省定边县

【中图分类号】 S513.019

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2014)03-0105-06

GIS based farmland suitability evaluation of corn planting in Dingbian, Shaanxi

WANG Lu-ming, CHANG Qing-rui, BAI Xue-jiao

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

Abstract: 【Objective】 This study evaluated corn planting suitability in Dingbian, Shaanxi based on GIS. 【Method】 Taking the connection area of Loess Plateau and the Ordos desert steppe in Dingbian, Shaanxi Province as an example, the corn planting suitability was evaluated through field investigation and laboratory analysis in support of GIS technology. Evaluation units were determined by stacking of soil map, land use map and administrative map, and 10 indexes were selected from soil management, soil nutrients, soil properties, and site conditions in combination with the analytic hierarchy process, fuzzy evaluation and other mathematical methods. Main factors influencing the corn planting suitability were analyzed as well. 【Result】 Farmlands in Dingbian, Shaanxi could be divided into four grades based on corn planting: the most appropriate, appropriate, less appropriate and inappropriate, with areas of 53 185.64 hm^2 , 121 634.76 hm^2 , 57 681.57 hm^2 and 10 801.20 hm^2 (accounting for 21.86%, 49.99%, 23.71% and 4.44 % to the area of total arable land), respectively. Factors influencing the corn planting suitability included slope, landform type, irrigation capacity, soil texture, organic matter and nitrogen. 【Conclusion】 In general, most of the land

【收稿日期】 2013-03-21

【基金项目】 国家自然科学基金项目(30872073)

【作者简介】 王路明(1987—),男,陕西西安人,在读硕士,主要从事遥感与 GIS 技术应用研究。E-mail: wlm11234@qq.com

【通信作者】 常庆瑞(1959—),男,陕西子洲人,教授,博士生导师,主要从事资源环境与“3S”技术应用研究。

E-mail: changqr@nwsuaf.edu.cn

in Dingbian, Shaanxi was suitable for corn planting. Less appropriate land could be improved after alteration while inappropriate land should be used for other purposes.

Key words: GIS; spatial distribution; farmland; corn planting; suitability evaluation; complex topography; Dingbian, Shaanxi

在农业生产中,经常会遇到某种作物在甲地生产良好,而在乙地则表现完全相反的情况,“桔逾淮而为枳”的现象表明,任何植物和动物在某一地区能否繁衍生长,与其所在地区的环境条件(无疑包括土地条件)有着十分密切的关系^[1]。土地适宜性评价就是评定土地对于某种用途是否适宜以及适宜的程度,它是进行土地利用决策以及科学编制土地利用规划的基本依据^[2-3]。近年来,人们越来越认识到土地适宜性评价的重要性。耕地上作物的适宜性评价是作物引种和布局的基本依据,也是种植模式设计和种植业结构优化调整的重要依据,对于种植业效益目标的实现有着重大影响。

近年来,许多学者对于耕地适宜性评价进行了研究,并取得了一定的研究成果。例如,贾科利等^[4]利用不同时段的 TM 影像为基础数据,应用遥感技术与地理信息系统相结合的方法,得到土地利用的空间变化和数量变化特征。卢祖瑶等^[5]以广德县为例,对其耕地种植油菜的适宜性进行了定量评价,用于保持和提高耕地种植油菜的生产力。但是对于黄土高原,关于耕地种植玉米适宜性的研究相对比较缺乏。因此,本研究结合农业部耕地地力调查项目,以地处黄土丘陵沟壑区的陕西省定边县为研究区域,借助地理信息系统技术,利用县域耕地资源管理信息系统和 Access 等相关软件,采用特尔斐法、层次分析法及模糊评价法等对耕地种植玉米适宜性进行评价,旨在为该地区耕地资源的科学管理和可持续利用提供依据^[6]。

1 研究区概况及数据来源

1.1 研究区概况

研究区选择陕北黄土高原与内蒙古鄂尔多斯荒漠草原过渡地带的陕西定边县。该县地处陕西西北部,榆林地区西端,陕、甘、宁、蒙 4 省(区)交界处。东西宽 98 km,南北长 118 km,总面积 6 864 km²;地理坐标北纬 36°49′~37°52′、东经 107°15′~108°22′。全县最高点在白湾子镇魏梁村,海拔 1 907 m,最低点在盐场堡乡花马池,海拔 1 303 m,平均海拔 1 605 m。该县地貌分为两大类型区,北部为毛乌素沙地-风沙滩地区,南部为黄土高原-黄土丘陵

地区,坡度为 0°~38.9°,平均坡度 10.1°。该区属于典型的温带干旱大陆性季风气候,多年平均气温 7.9℃,最冷月 1 月平均气温为-8.3℃;最热月 7 月平均气温为 22.3℃;多年平均降水量 316.73 mm,降水量最少 179.9 mm,降水量最多 554.4 mm;年平均相对湿度 53%,相对湿度最低 47%,相对湿度最高 59%。该地区地表水分南部外流区、中部内流区和北部湖泊沼泽区 3 部分。全县共有风沙土、黄绵土、黑垆土、淤土、潮土、草甸土、盐土、栗钙土、棕钙土、沼泽土等 10 个土壤类型,其中以黄绵土为主,其面积占区域总面积的 45.05%;其次是淤土(19.77%)、风沙土(12.88%)、黑垆土(11.73%)。虽然定边县气候干旱且多风,但该区光照充足、雨热同季、昼夜温差大、土层深厚,宜耕强,适宜多种农作物生长。

1.2 数据来源

本研究数据来自 2008 年开始进行的“测土配方施肥”项目所获得的定边县耕地调查点资料(包括采样点坐标、基本耕种情况、土壤农化分析数据),县乡村基本情况以及相关文本资料和数据资料。空间数据包括定边县 1:10 万土壤图、DEM 高程图、1:15 万行政边界图以及 1:15 万土地利用现状图等。

2 研究方法

本研究结合农业部耕地地力调查项目,应用 GIS 技术,首先通过对定边县土地利用现状图和土壤图进行数字化操作^[7],利用综合分析的方法提取有用数据,并结合实地农田采样点的养分值以及相关的地图资料,进行空间内插,得到土壤有机质和 N、P、K 等养分的分布栅格图;之后将分布栅格图与陕西省 DEM 高程数据进行叠加,取得海拔坡度等有效数据,并将其进行汇总;再次进行评价单元的确定,同时对数据丢失或者不全的评价单元进行就近合并操作,然后通过操作生成最终评价单元;通过建立一定的评价体系,对当地主要农作物——玉米进行耕地种植适宜性评价^[8],以探明耕地种植玉米适宜性与各个影响因子间的关系^[9]。

2.1 评价单元的确定

评价单元是对土地质量具有关键影响的各土地要素组成的空间实体,是土地评价的最基本单位、对

象和基础图斑^[10]。它的确定直接关系到土地评价质量和工作量的大小及评价结果的应用。为使评价单元空间界线与行政隶属关系、土地利用类型及土壤类型一致,本研究利用 ArcGIS 9.3 软件的 Intersect 工具,将土地利用现状图、土壤图和行政区划图进行叠加分析,并提取出土地利用类型为耕地的部分作为评价单元,最后共生成 6 950 个评价单元^[11]。

2.2 评价指标的选择

由于研究区域范围较小(县域),气候要素相对一致,耕地适宜性评价可以根据该区域耕地的自然环境要素、土壤理化性状、农田基础设施和管理水平等要素的综合特征,揭示其潜在生产力水平。在选择评价指标时,综合考虑定边县土地资源的特点,结合实际情况,依据针对性、主导性、稳定性、可操作性等原则,运用专家经验法,确定了立地条件、土壤性质、土壤养分和土壤管理 4 个方面共 10 个评价指标^[12],具体包括坡度、地貌类型、土壤质地、土体构型、有机质、碱解氮、有效磷、速效钾、灌溉能力、农田基础设施等因子。

2.3 评价指标权重的计算

由于各个评价指标对耕地种植玉米适宜性有着不同的影响。各评价指标权重采用层次分析法确定^[13-14]。首先结合研究区的实际情况,根据专家小组讨论评比,依据 10 个评价指标要素间的关系,通过建立层次结构、构造判断矩阵、层次单排序、层次总排序及其一致性检验,得到了定边县 10 个评价指标的组合权重(表 1)。由表 1 可见,坡度的组合权重最高,其次是地貌类型、灌溉能力、土壤质地、有机质和碱解氮,这 6 项的组合权重之和占总组合权重的 84.63%;其他因子的组合权重均较低。因此,坡度、地貌类型、灌溉能力、土壤质地、有机质和碱解氮为影响该区耕地种植玉米适宜性最重要的指标。

表 1 陕西省定边县耕地种植玉米适宜性评价的指标及其权重

Table 1 Factors and their weights for evaluation of corn planting suitability in Dingbian, Shaanxi					
指标层 A Index	立地条件 Site condition C ₁	土壤性质 Soil property C ₂	土壤养分 Soil nutrient C ₃	土壤管理 Soil management C ₄	组合权重 Combination weights ΣC _i A _i
	0.454 7	0.141 1	0.263 0	0.141 1	
坡度 A ₁ Slope	0.666 7				0.303 1
地貌类型 A ₂ Topographic type	0.333 3				0.151 6
土壤质地 A ₃ Soil texture		0.666 7			0.094 1
土体构型 A ₄ Soil configuration		0.333 3			0.047 0
有机质 A ₅ Organic matter			0.350 7		0.092 3
碱解氮 A ₆ Available N			0.350 7		0.092 3
有效磷 A ₇ Available P			0.109 3		0.028 8
速效钾 A ₈ Available K			0.189 2		0.049 8
灌溉能力 A ₉ Irrigation capacity				0.800 0	0.112 9
农田基础设施 A ₁₀ Land infrastructure				0.200 0	0.028 2

2.4 不同评价指标隶属度的确定

根据模糊数学法的理论,将选定的评价指标与耕地生产能力的关系分为戒上型、直线型和概念型 3 种类型的隶属函数^[15]。前 2 种类型中的评价指标属数值型,可以用特尔斐法来拟合耕地生产力与评价指标实测值之间关系,继而对评价指标实测值的隶属度进行评估;或者也可以根据惟一差异原则,用田间试验的方法获得评价指标测试值和产量的数

据,将产量进行归一化处理,再用评价指标测试值与转换后的产量来拟合隶属函数。而对于概念型指标,如土壤质地等,鉴于其与耕地生产能力之间是一种非线性的关系,故采用特尔斐法直接获得隶属度。利用县域资源管理信息系统中的隶属函数分析模块,对定边县 10 个评价指标进行分析,确定其隶属函数模型及隶属度,结果见表 2 和表 3。

表 2 陕西省定边县耕地种植玉米适宜性评价中数值型评价指标的隶属函数

Table 2 Numeric factors and their membership functions for evaluation of corn planting suitability in Dingbian, Shaanxi				
函数类型 Function type	项目 Item	隶属函数 Membership function	C	U _i
戒上型 Upper limit	有机质 Organic matter	$Y=1/[1+0.023\ 751\times(u-c)^2]$	-11.81	18.225 5
戒上型 Upper limit	碱解氮 Available N	$Y=1/[1+0.001\ 335\times(u-c)^2]$	-15.01	67.103 7
戒上型 Upper limit	有效磷 Available P	$Y=1/[1+0.009\ 979\times(u-c)^2]$	-38.74	186.758 3
戒上型 Upper limit	速效钾 Available K	$Y=1/[1+0.000\ 177\times(u-c)^2]$	-5.64	13.828 9
直线型 Linear	坡度 Slope	$Y=1.008\ 948-0.031\ 06\times x$	$x=0.288\ 1$	$Y=1$

注:C 和 U_i 分别为隶属函数中各个指标的最佳值、最小值。
Note:C and U_i indicate the best value and minimum value in membership function, respectively.

表 3 陕西省定边县耕地种植玉米适宜性评价中概念型评价指标的隶属度

Table 3 Membership of conceptual factors for evaluation of corn planting suitability in Dingbian, Shaanxi

评价指标 Evaluation index	描述 Description	隶属度 Membership	评价指标 Evaluation index	描述 Description	隶属度 Membership
地貌类型 Topographic type	黄土涧地 Loess ravine	0.7	土壤质地 Soil texture	中壤 Medium loam soil	1.0
	风沙滩地 Flood land	1.0		轻壤 Light soil	0.9
灌溉能力 Irrigation capacity	保灌 Guarantee irrigation	1.0		黏壤 Clay loam soil	0.5
	能灌 Capable irrigation	0.8		沙壤 Sandy loam soil	0.7
	基本满足 Satisfy	0.6		沙土 Sand soil	0.3
	不需要 Not Required	0.2	农田基础设施 Land infrastructure	完全配套 Absolutely perfection	1.0
	无 None	0.2		配套 Perfection	0.8
土体构型 Soil configuration	A-B-C	0.95		基本配套 Basic perfection	0.6
	A-C	0.5		不配套 Imperfection	0.4
	AC-C	0.3		无 None	0.2
	C	0.2			

2.5 耕地种植玉米适宜性综合指数的计算与分级

本研究利用累加模型公式计算每个评价单元的耕地种植玉米适宜性综合指数(*IFI*),即:

$$IFI = \sum F_i \times C_i, i=1,2,3,\cdots,n。$$

式中:*IFI*为耕地种植玉米适宜性综合指数;*F_i*为第*i*个因子的隶属度;*C_i*为第*i*个因子的组合权重。

计算结果显示,陕西省定边县耕地种植玉米适宜性综合指数最大值为 0.87,最小值为 0.38。以此为依据绘制各评价单元以及耕地种植玉米适宜性的累积频率曲线图,并以其拐点作为每一等级的起始分值。同时考虑限制性因素如坡度、地貌类型等,对研究区耕地种植玉米适宜性进行等级划分,最终分

表 4 陕西省定边县耕地种植玉米适宜性的分级结果

Table 4 Corn planting suitability classification in Dingbian, Shaanxi

适宜类别 Suitability classification	综合指数(<i>IFI</i>) Integrated fertility index	面积/hm ² Area	占耕地面积比例/% Percentage of farmland
最适宜 Most suitable	>0.70	53 185.64	21.86
适宜 Suitable	>0.60~≤0.70	121 634.76	49.99
次适宜 Barely suitable	>0.50~≤0.60	57 681.57	23.71
不适宜 Unsuitable	≤0.50	10 801.20	4.44

3.1 最适宜区

在定边县,玉米种植最适宜区耕地面积为 53 185.64 hm²。该类耕地分布比较集中,主要位于灌溉条件较好的滩地台塬和梁塬区;此外还有一部分耕地分布在中部过渡地带和南部的黄土涧地。该类型耕地地势平坦,平均坡度 1°,无明显的起伏;土壤类型以风沙土为主,还有部分盐土和淤土;土壤质地良好,以沙壤和沙土为主,其面积分别为 34 940.16和 10 440.89 hm²,耕层深厚。该类型耕地土壤的主要养分含量为:有效磷 8.73 mg/kg,碱解氮 41.90 g/kg,速效钾 122.41 mg/kg,有机质 7.10 g/kg,土壤养分含量无明显缺失。不过值得注意的是,该类耕地中,48.98%的土地不具备灌溉能力。

为最适宜、适宜、次适宜、不适宜 4 个等级。

3 结果与分析

表 4 和图 1 显示,定边县种植玉米的最适宜区和适宜区面积分别占了全部耕地面积的 21.86%和 49.99%;次适宜区面积占 23.71%,不适宜区面积占 4.44%。可知定边县比较适宜玉米耕种。经实地调查,评价结果符合当地实际情况。另外,定边县最适宜玉米种植的耕地集中分布在北部的风沙滩区;适宜玉米种植的耕地面积最大,主要分布在研究区的北部风沙滩区 and 中部过渡地带。

3.2 适宜区

在定边县,玉米种植适宜区的耕地在全县均有分布,面积最大,为 121 634.76 hm²。该类耕地地势起伏不大,平均坡度 6°;土壤类型以绵土、淤土和黑垆土为主;土壤质地良好,其中沙壤面积为 75 584.84 hm²,沙土面积为 25 178.33 hm²,还有少部分轻壤,其面积为 15 401.72 hm²。这类耕地土壤主要养分含量为:有效磷 7.83 mg/kg,碱解氮 44.16 g/kg,速效钾 123.16 mg/kg,有机质 8.05 g/kg。与玉米种植最适宜区耕地相比,此类耕地除了有效磷含量略有降低外,其他养分含量均略有增加,说明其他因素很大程度上影响了该类耕地种植玉米的适宜性。此类耕地绝大多数不具备灌溉条件,无灌溉条件的耕地面积占 97.99%,说明灌溉条件很大程度

上影响了此类耕地种植玉米的适宜性,故可以通过改造农田基础设施以提高其适宜性。

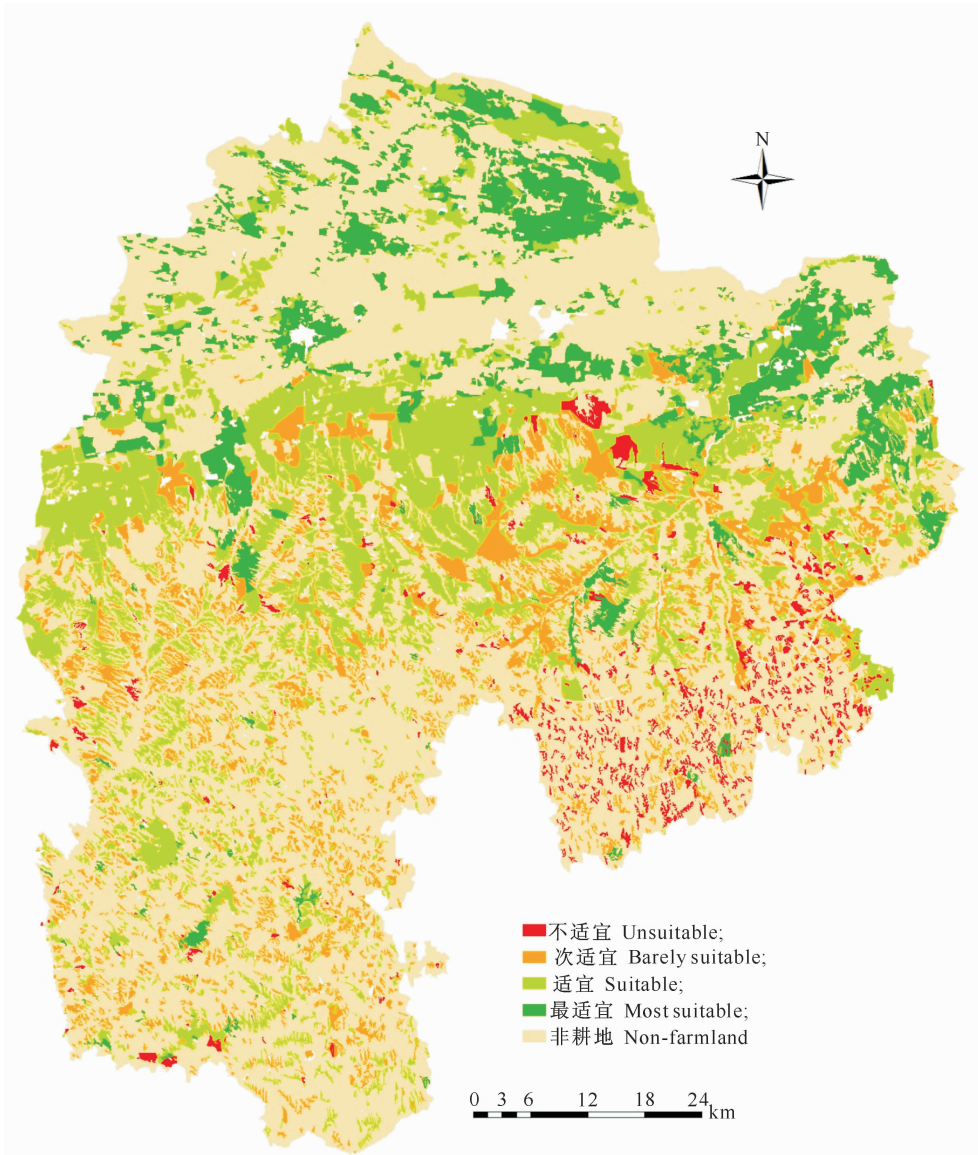


图 1 陕西省定边县不同等级耕地种植玉米适宜性的分布图

Fig.1 Distribution of arable lands with different corn planting degrees in Dingbian,Shaanxi

3.3 次适宜区

在定边县,玉米种植次适宜区耕地面积为 57 681.57 hm²。此类耕地绝大多数分布在南部的黄土涧地上;地势起伏大,平均坡度 17°,水土流失已成为制约其生产力而不可忽视的重要因素之一;土壤类型以於绵土和黄绵土为主;土壤质地一般,其中沙壤面积为 38 536.94 hm²,轻壤面积为 15 257.20 hm²。这类耕地土壤主要养分含量为:有效磷 7.71 mg/kg,碱解氮 48.63 g/kg,速效钾 131.75 mg/kg,有机质 8.71 g/kg。不过此类耕地基本上不具备灌溉能力,可能因为该类耕地的所处地貌比较复杂,不具备建设水利设施的条件。

3.4 不适宜区

定边县玉米种植不适宜区耕地较少,面积为 10 801.20 hm²,主要集中在东南部的黄土涧地,其地势起伏大,平均坡度 23°;土壤类型以黄绵土和於绵土为主;土壤质地一般,其中沙壤面积 6 808.84 hm²,轻壤面积 3 950.05 hm²。这类耕地土壤主要养分含量为:有效磷 7.92 mg/kg,碱解氮 41.73 g/kg,速效钾 112.10 mg/kg,有机质 7.63 g/kg,相对而言此类耕地养分不够丰富。该类耕地无灌溉条件,改良难度较大,比较适合农作物生产,可因地制宜发展药材等,以增加经济效益;另外,对于坡度大的耕地,还需退耕还林还草,以恢复生态,改善环

境。

4 讨 论

本研究以黄土高原与鄂尔多斯荒漠草原连接的复杂区域陕西省定边县为对象,通过野外采样与室内分析的手段获取了大量数据,借助 GIS 技术手段和综合运用层次分析法、模糊数学法和综合指数法等对定边县的耕地种植玉米适宜性进行了评价,通过 GIS 强大的数据获取、处理和分析的功能,实现了评价单元的科学划分和评价指标属性度的自动计算,并统一管理和实时显示耕地种植玉米适宜性评价过程中的空间数据和属性数据,科学合理地定量分析耕地种植玉米适宜性与各影响因子之间的关系。

本研究通过层次分析法分析了陕西定边县耕地种植玉米适宜性影响因子的权重,既考虑了各位专家的经验,又在一定程度上减少了评价者自身主观因素的影响,提高了耕地种植玉米适宜性评价结果的精度,使评价结果更加符合当地实际,为指导农业生产提供了科学依据。本研究结果显示,坡度、地貌类型、灌溉能力、土壤质地、有机质和碱解氮是影响陕西定边县耕地种植玉米适宜性的重要指标,这与当地的实际情况相符,且由于不同适宜性级别的耕地面临的问题不一样,限制因素也不一样,应该因地制宜地制定针对以上影响因子的措施,维护和提高耕地种植玉米生产力。

本研究通过计算评价综合指数,按照累积曲线法确定了定边县耕地种植玉米适宜性可以分为最适宜、适宜、次适宜和不适宜 4 个等级,其中适宜玉米种植的耕地面积所占比例最高,约占到了耕地总面积的 50%;最适宜和次适宜耕地面积所占比例次之;不适宜耕地面积所占比例最小。

[参考文献]

[1] 史同广,郑国强,王智勇,等. 中国土地适宜性评价研究进展[J]. 地理科学进展,2007(2):108-117.
Shi T G,Zheng G Q,Wang Z Y,et al. Progress in research on land suitability evaluation in China [J]. Progress in Geography,2007(2):108-117. (in Chinese)

[2] 刘明皓. 基于 GIS 的土地适宜性评价方法研究:以重庆市城口县为例 [J]. 重庆师范大学学报:自然科学版,2007(4):27-31,105.
Liu M H. GIS-based methods to land suitability evaluation: A case of study in Chengkou county, Chongqing [J]. Journal of Chongqing Normal University: Natural Science Edition, 2007 (4):27-31,105. (in Chinese)

[3] 钟德燕,常庆瑞. 黄土丘陵沟壑区耕地苹果种植适宜性评价研究 [J]. 农机化研究,2012(5):7-12.
Zhong D Y,Chang Q R. Research on suitability evaluation of cultivated land for apple in loess hill and gully area [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2012 (5): 7-12. (in Chinese)

[4] 贾科利,常庆瑞. 基于 TM 的陕北农牧交错带土地利用覆盖动态变化遥感监测 [J]. 干旱地区农业研究,2007,25(3):181-185.
Jia K L,Chang Q R. Land use dynamic monitor based on the TM data in agriculture and pasturage interlaced zone of northern Shaanxi [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2007,25(3):181-185. (in Chinese)

[5] 卢祖瑶,杨平,李贤胜,等. 基于 GIS 的广德县耕地油菜种植适宜性定量评价 [J]. 安徽农学通报,2008,14(19):85-87,12.
Lu Z Y,Yang P,Li X S,et al. Quantitative assessment of rape-planting-suitability of farm land in Guangde County based on GIS [J]. Anhui Agricultural Science Bulletin,2008,14(19):85-87,12. (in Chinese)

[6] 苗玉琴,寇晓东. 定边县玉米生产现状及对策 [J]. 陕西农业科学,2009(6):91-93.
Miao Y Q,Kou X D. Corn production and countermeasures of Dingbian County [J]. Shaanxi Journal of Agricultural Sciences, 2009(6):91-93. (in Chinese)

[7] 田洪阵,刘沁萍. 基于 ArcGIS 的数字化成图研究 [J]. 许昌学院学报,2005(5):106-109.
Tian H Z,Liu Q P. Study of digital mapping with ArcGIS [J]. Journal of Xuchang University,2005(5):106-109. (in Chinese)

[8] 李忠锋,王彦丽. 定边县土地利用动态变化研究 [J]. 干旱区地理,2004(4):67-71.
Li Z F,Wang Y L. Study of land use change in Dingbian County [J]. Arid Land Geography,2004(4):67-71. (in Chinese)

[9] 文琦. 陕北农牧交错区生态环境影响因素评价 [J]. 干旱地区农业研究,2009,27(1):212-217.
Wen Q. Analysis on the effective factors of eco-environment in agro-pastoral eco tone of Northern Shaanxi [J]. Agricultural Research in the Arid Areas,2009,27(1):212-217. (in Chinese)

[10] 钟德燕,常庆瑞. 基于 GIS 的黄土丘陵沟壑区耕地地力评价研究 [J]. 农机化研究,2012(6):13-18.
Zhong D Y,Chang Q R. Evaluation of cultivated land fertility in loess hill and gully area based on GIS [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2012 (6): 13-18. (in Chinese)

[11] 张晓萍,李锐,杨勤科. 基于 RS/GIS 的生态脆弱区土地利用适宜性评价 [J]. 中国水土保持科学,2004(4):32-38.
Zhang X P,Li R,Yang Q K. Evaluation of land use suitability at the vulnerable ecological area based on RS/GIS [J]. Science of Soil and Water Conservation,2004(4):32-38. (in Chinese)