

基于 GIS 的县域耕地地力评价 ——以云南省云县为例

陈和彦¹, 查玲梅², 付丽云², 施 勇³, 李 钢², 严正美²

(1.云南省云县晓街农业综合服务中心, 云南 云县 675800; 2.云南省云县农业局土肥站, 云南 云县 675800; 3.云南省云县烤烟产业办公室, 云南 云县 675800)

摘 要:以云县为评价对象,基于 ArcGIS 软件的强大空间分析功能,采用层次分析法对耕地地力进行评价。评价结果显示:云县没有 1 级耕地分布,2~4 级耕地有少量分布,占全县耕地 8.23%;5~10 级耕地分布较广,占全县耕地 91.77%,云县耕地质量在国家标准地力等级体系中处于中等偏下水平。

关键词:土壤肥力;综合评价;GIS 技术;云南云县

中图分类号:S158.9

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2014)01-0032-06

doi: 10.13254/j.jare.2013.0240

GIS-based Farmland Fertility Evaluation in County Territory:A Case study in Yunxian County, Yunnan Province, China

CHEN He-yan¹, CHA Ling-mei², FU Li-yun², SHI Yong³, LI Yin², YAN Zheng-mei²

(1.Comprehensive Agricultural Service Centers of Xiaojie Township,Yunxian 675800, China; 2. Soil and fertilizer Office of Yunxian ,Yunxi-an Agricultural Bureau, Yunxian 675800, China; 3. Yunxian Flue-cured Tobacco Industry Office, Yunxian 675800, China)

Abstract: Taking Yunxian County as an evaluation object, on the basis of the powerful spatial analysis function of ArcGIS software, stratification analysis method to evaluate the farmland fertility was adopted. The results showed: there was no 1st class farmland in Yunxian; there was a little distribution of 2nd to 4th class farmland, taking 8.23% of all the farmland in the county; 5th to 10th class farmland was widely distributed, taking 91.77% of all the farmland in the county; and the farmland quality of Yunxian County was at a lower middle level in the national standard systems of soil fertility level.

Keywords: soil fertility; comprehensive evaluation; GIS technology; Yunxian County in Yunnan Province

土壤是在自然、社会、经济等多项因素综合作用下形成的,是一个随时间、空间变化的系统。其中,综合肥力是其最重要的属性特征,土壤综合肥力包括 2 个有机的组成部分:土壤养分状况和土壤在供应植物生理所需物质时所处的条件。土壤综合肥力的定量评价与空间表达对于施肥、培肥和环境研究等有着极其重要的意义^[1]。云南省云县是国家级贫困县,全县 95.5% 的耕地分布在山区和半山区,全县经济收入主要依靠

农业。1982 年全国第二次土壤普查以来,由于农业耕作依靠大量使用化肥致使土壤普遍酸化、有机质含量明显降低,加之气温逐年升高、农业基础设施建设条件变化等各种原因引起了耕地生产力发生变化。因此,摸清县域耕地地力变化情况,合理地利用耕地促进农业发展,进行土壤肥力的综合评价研究,对保持土壤健康,维持农业生态系统生产力,综合治理中低产土壤,建立高稳产农田,促进农业持续发展、持续稳定和协调发展具有重要意义^[2]。

1 材料与方法

1.1 评价区概况

云县位于云南省西南部,距省会昆明市 440 km。

收稿日期:2013-12-10

基金项目:云南省农业厅/云南省财政厅补贴云县测土配方施肥暨耕地地力评价项目(2041)

作者简介:陈和彦(1973—),男,云南云县人,工程师,主要从事农林业技术应用和推广工作。E-mail:757808754@qq.com

地理位置介于东经 99°43′~100°33′和北纬 23°56′~24°46′之间,总面积 366 000 hm²。境内最高海拔 3 429.6 m,最低海拔 750 m,相对高差 2 679.6 m。据 1982 年全国第二次土壤普查成果资料《云县土壤》记载,境内土壤类型分为赤红壤、红壤、黄壤、黄棕壤、草甸土、紫色土、水稻土 7 个土类,12 个亚类,46 个土属,144 个土种。

1.2 资料收集和样点调查

收集的基础资料主要有 1:50 000 云县地形图、云县土壤图、云县土地利用现状图;云县土地利用现状详查及变更数据资料,《云县土壤》等云县第二次土壤普查成果资料,云县近 3 年主要农作物生产统计数据等。根据耕地地力调查与质量评价技术规程,野外采样以坝区、水浇地为重点,所采样点具备典型性和代表性,尽可能与第二次土壤普查时的采样点位置一致。共采集和化验检测 2 218 个土壤样品(核心土样 691 个)。核心土样进行分析检测 pH 值、有机质、全氮、速效氮、速效磷、速效钾、交互性镁、有效锰、有效锌、有效硼、有效钼(或者有效硫)11 项指标,其余 1 527 个辅助土样进行分析检测 pH 值、有机质、全氮、速效氮、速效磷、速效钾 6 项常规指标。本次评价的采样点农化数据和 GPS 位置数据是云县测土配方项目土壤采样点农化数据和 GPS 位置数据,在此基础上进行插值分析(图 1 和表 1)。

1.3 技术路线

利用 ArcGIS 9.3 软件进行空间处理分析,用 Excel 软件处理属性数据。土壤养分数据在 GPS 点位图基础上进行插值空间分析,生成有效磷等各类理化分布图(图 2)。对行政区划图、土壤图、土地利用现状图等图件进行矢量化并进行校正(统一配准为北京 54 直角坐标系),对采样点 GPS 数据(转换为北京 54 直角坐标系与云县 1:50 000 地形图相匹配)建立调查样点数据库,把 3 种图叠加分析后形成 29 286 个图斑作为评价单元。根据各评价因子的空间分布和属性数据,将各评价因子的属性数据赋值给各评价单元。采

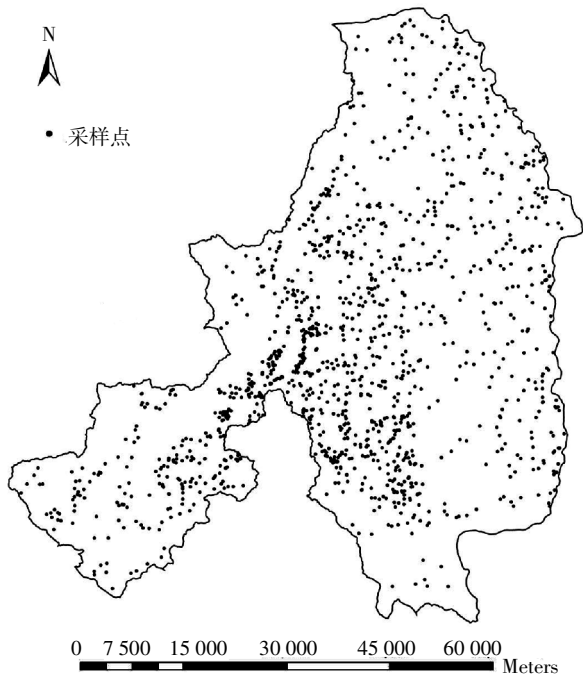


图 1 调查样点位置图

Figure 1 Survey sample location map

样点的土壤理化性状各项属性用克里格插值方法转换为栅格数据后用区统计的方法提取属性值;对矢量数据(如降水量等数据)直接与评价单元叠加提取属性;获取地形数据(坡度)采用数字化等高线生成数字高程模型(云县 DEM,见图 3)后派生而得,用区统计的方法提取坡度属性值。运用特尔斐法(专家打分法)和模糊数学法建立隶属函数,确定评价因子的隶属度,运用层次分析法确定评价因子的权重值,采用累计加法模型计算出各评价单元的耕地综合生产力指数,运用累积频率曲线法划分出地力等级,最后绘出耕地地力评价等级图。

2 结果与讨论

2.1 评价指标体系确立

2011 年 12 月,云县农业局组织了市、县 9 位专家组成专家组,结合云县土壤实际特点,依据重要性、差

表 1 土壤采样点空间属性与理化属性
Table 1 Spatial properties of soil sampling sites

统一编号	空间 GPS 定位			pH 值	有机质/ g·kg ⁻¹	有效磷/ mg·kg ⁻¹	速效钾/ mg·kg ⁻¹	有效锌/ mg·kg ⁻¹	水溶态硼/ mg·kg ⁻¹
	X	Y	海拔/m						
675800G20080215A194	2718513	641667	1 131	5.2	25.4	41.2	174	0.87	0.18
675800G20080215A195	2718496	627171	1 092	5	24.3	21.7	78	1.02	0.32
675800F20080317A193	2710903	617524	1 119	6.6	18.6	21.7	139	0.8	0.23
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

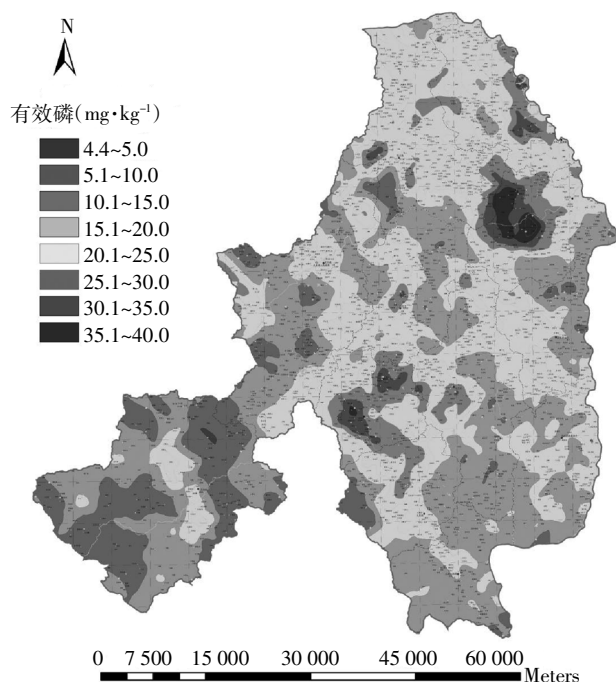


图 2 有效磷分布图

Figure 2 Phosphorus distribution map

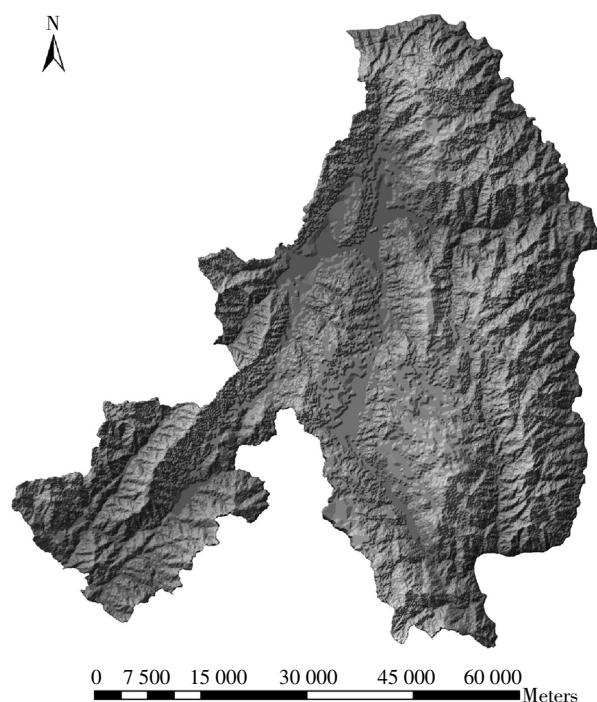


图 3 云县 DEM^[3]

Figure 3 Yunxian DEM^[3]

异性、稳定性、易获取性、必要性、精简性 6 个原则^[4], 综合考虑对云县耕地地力影响比较大、评价区域内变异较大、在时间序列上具有相对稳定性、与评价区域地形有密切关系、具有很好的操作性、有实际意义等要求和评价技术标准, 经过研究和讨论, 从全国 64 项评价指标中选取了 15 个因子作为评价体系指标, 建立了评价层次结构, 见图 4。

2.2 单因素评价

评价因子对耕地地力的影响程度是一个模糊性概念问题, 因而采用模糊评价方法评价单因素指标, 选取的指标分为数值型和概念型^[1]。隶属度是评价因子的观测值符合该模糊性的程度(即某评价因子在某观测值时对耕地地力的影响程度), 完全符合为 1, 完全不符合为 0, 部分符合为 0~1 之间的任何一个数值。

隶属函数表示评价因子的观测值与隶属度之间的解析函数。根据评价因子的隶属函数, 对于某评价因子的每一观测值均可计算出其对应的隶属度。本次评价中, 选定的评价指标与耕地生产能力的关系分为戒上型、戒下型、峰型和概念型 4 种。数值型应用 SPSS 统计软件建立函数获取分值见表 2; 概念型采用专家评估法直接打分, 见表 3。

2.3 评价指标权重确定

由于各评价因素对耕地地力的影响程度是有差异的, 所以必须确定它们的权重, 选用层次分析法(AHP)来确定指标权重, 确定每一评价因素对耕地地力贡献大小^[5]。层次分析法是将决策总是有关的元素分解成目标、准则、方案等层次, 在此基础上进行定性与定量相结合的决策分析方法^[6], 它是一种决策者对

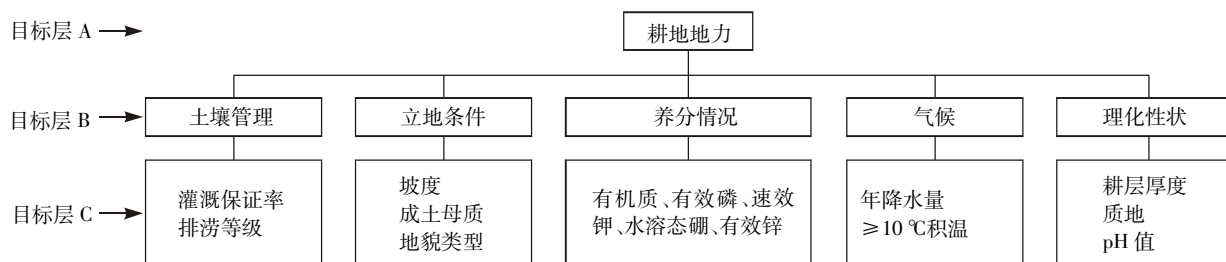


图 4 评价指标层次结构

Figure 4 Structure of evaluation index

表 2 数值型评价指标隶属函数

Table 2 The membership function of evaluation indices of the numerical model

评价指标	函数类型	函数关系式	a 值	c 值
坡度	戒下型	$y=1/[1+a(u-c)^2]$	4.96E-03	2.84
≥10℃积温	戒上型	$y=1/[1+a(u-c)^2]$	1.17E-07	7 000
年降水量		$y=1/[1+a(u-c)^2]$	1.71E-06	1 500
有机质		$y=1/[1+a(u-c)^2]$	5.57E-04	50.48
有效磷		$y=1/[1+a(u-c)^2]$	4.74E-04	46.92
速效钾		$y=1/[1+a(u-c)^2]$	3.27E-05	220
有效锌		$y=1/[1+a(u-c)^2]$	4.13E-01	2.30
水溶态硼		$y=1/[1+a(u-c)^2]$	2.86E-01	2.26
耕层厚度		$y=1/[1+a(u-c)^2]$	7.54E-03	21.53
pH 值	峰型	$y=1/[1+a(u-c)^2]$	1.51E-01	6.54

复杂系统的决策思维过程模型化、数量化的过程,决策者通过将复杂问题分解为若干层次和若干因素,在

各因素之间进行简单的比较和计算,就可以得出不同方案的权重,为最佳方案提供依据。耕地地力评价是多因素综合作用的结果,不仅每一种因素对地力的影响是复杂的,而且因素之间是相互制约影响的,为了增加赋值的科学性,降低主观性,层次分析法是一种较为合理的方法^[7]。本次评价采用层次分析法确定各评价因子的权重,将各个因子划分为相互联系的层次,确定每一层相对重要的权重值,计算出每一个评价因素对耕地综合地力的贡献值,计算所得各评价因子组合权重,见表 4。

2.4 计算耕地地力综合指数

采用加法模型计算各个评价单元的土壤肥力综合指数,其函数关系式表示为:

$IFI=\sum Fi\times Ci\ (i=1,2,3,\cdots,n)$

式中:IFI(Integrated Fertility Index)代表耕地地力指

表 3 概念型评价指标隶属度

Table 3 The membership function of the conceptual evaluation indices

耕层质地		灌溉保证率		排涝能力		地貌类型		成土母质	
条件描述	隶属度	条件描述	隶属度	条件描述	隶属度	条件描述	隶属度	条件描述	隶属度
中壤	1.0	充分满足	1.0	好	1.0	平坝	1.0	冲积物	1.0
轻壤	0.9	基本满足	0.9	中	0.8	丘间洼地	0.9	坡积物	0.8
重壤	0.8	一般满足	0.7	差	0.5	丘陵	0.7	残积物	0.6
砂壤	0.7	无灌溉条件	0.5			山地	0.6		
粘土	0.5								
砂土	0.4								

表 4 评价因子及权重表

Table 4 Evaluation factors and weights

层次 C	层次 B					组合权重
	土壤管理	立地条件	剖面与耕层理化性状	耕层养分状况	气候	
	0.260 9	0.217 4	0.195 7	0.195 7	0.130 4	$\sum CiBi$
灌溉保障率	0.750 0					0.195 7
排涝等级	0.250 0					0.065 2
坡度		0.545 5				0.118 6
地貌类型		0.272 7				0.059 3
成土母质		0.181 8				0.039 5
耕层厚度			0.500 0			0.097 8
质地			0.250 0			0.048 9
pH 值			0.250 0			0.048 9
有机质				0.375 0		0.073 4
有效磷				0.187 5		0.036 7
速效钾				1.187 5		0.036 7
有效锌				0.125 0		0.024 5
水溶态硼				0.125 0		0.024 5
≥10℃积温					0.666 7	0.087 0
年降水量					0.333 3	0.043 5

数; F_i =第 i 个因素评语; C_i =第 i 个因素的组合权重。利用累积曲线法,确定云县耕地地力综合指数分级方案,将耕地地力综合指数按从大到小的顺序分为 9 等份。耕地地力综合指数越大,耕地地力水平越高^[8]。获取评价单元近 3 年粮食正常年份平均产量作为概念型产量进行汇总分析,根据农业部《全国耕地类型区、耕地地力等级划分》(NY/T 309—1996)国家标准,把用自然要素评价的耕地地力等级归入用概念型产量表示的国家耕地地力等级体系,见表 5。

评价的实现以评价因子的栅格图叠加运算完成,实际上是所有被叠置网格图上同名网格数据的比较和综合,这种基于数学运算的叠加计算,在地理信息系统(GIS)中称为地图代数^[9]。具体实现是在 ArcGIS 软件中编写如下地图代数语言进行叠加计算: $EVALUATION = \text{隶属度}([\text{灌溉保障率}]) \times 0.1957 + \text{隶属度}([\text{排涝等级}]) \times 0.0652 + \text{隶属度}([\text{坡度}]) \times 0.1186 + \text{隶属度}([\text{地貌类型}]) \times 0.0593 + \text{隶属度}([\text{成土母质}]) \times 0.0395 + \text{隶属度}([\text{耕层厚度}]) \times 0.0978 + \text{隶属度}([\text{质地}]) \times 0.0489 + \text{隶属度}([\text{pH}]) \times 0.0489 + \text{隶属度}([\text{有机质}]) \times 0.0734 + \text{隶属度}([\text{有效磷}]) \times 0.0367 + \text{隶属度}([\text{速效钾}]) \times 0.0367 + \text{隶属度}([\text{有效锌}]) \times 0.0245 + \text{隶属度}([\text{水溶态硼}]) \times 0.0245 + \text{隶属度}([\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C 积温}]) \times 0.0870 + \text{隶属度}([\text{年降水量}]) \times 0.0435$ 。

根据各评价单元耕地地力综合指数和分级方案,划分云县耕地地力等级,各等级分布见图 5。

评价结果显示:云县有国家耕地地力评价体系中的 2 级地(全国地力等级,下同)144.68 hm^2 , 占全县耕地面积 0.36%;3 级地 636.82 hm^2 , 占全县耕地面积 1.57%;4 级地 2 548.26 hm^2 , 占全县耕地面积 6.3%;

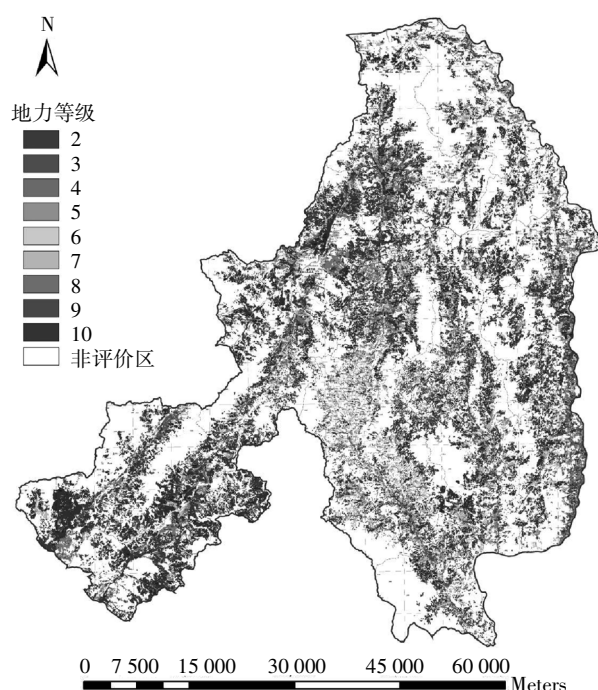


图 5 云县地力等级分布图

Figure 5 Yunxian fertility level map

5 级地 5 029.31 hm^2 , 占全县耕地面积 12.43%;6 级地 9 283.63 hm^2 , 占全县耕地面积 22.94%;7 级地 9 824.31 hm^2 , 占全县耕地面积 24.27%;8 级地 5 591.45 hm^2 , 占全县耕地面积 13.81%;9 级地 4 388.74 hm^2 , 占全县耕地面积 10.84%;10 级地 3 028.06 hm^2 , 占全县耕地面积 7.84%。

耕地评价指标体系的不统一问题是目前中国耕地地力评价工作中最主要的问题之一^[10],云县有河谷盆地、中切割中山宽谷区和深切切割中山峡谷区 3 种特征地貌,最高海拔 3 439 m,最低海拔 748 m,相对高

表 5 云县耕地地力分级对比表

Table 5 Yunxian farmland classification table

云县综合指数 地力等级	全国地力等级	全国产量指标/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$	IFI 指数		单元/个	各级单元/%	耕地面积/ hm^2	占比例/%
			得分 $\geq$	得分 $<$				
	1	$>13\ 500$						
一级	2	12 000~13 500	0.882	1.000	105	0.36	144.68	0.36
二级	3	10 500~12 000	0.860	0.882	525	1.79	636.82	1.57
三级	4	9 000~10 500	0.820	0.860	2 491	8.51	2 548.26	6.30
四级	5	7 500~9 000	0.770	0.820	6 631	22.63	5 029.31	12.43
五级	6	6 000~7 500	0.710	0.770	8 379	28.61	9 283.63	22.94
六级	7	4 500~6 000	0.670	0.710	4 743	16.20	9 824.31	24.27
七级	8	3 000~ 500	0.650	0.670	2 576	8.80	5 591.45	13.81
八级	9	1 500~3 000	0.630	0.650	2 191	7.48	4 388.74	10.84
九级	10	$<1\ 500$	0.000	0.630	1 645	5.62	3 028.06	7.48
总计					29 286	100.00	40 475.27	100.00

差 2 350 m, 有低纬高原亚热带季风气候和温暖带季风气候 2 种立体气候^[1], 如何选择和优化参评指标, 是评价工作应考虑的关键问题。

3 结论

(1) 地理信息系统(GIS)具有强大的空间数据处理和分析功能, 支持土壤肥力综合评价全过程。本次评价利用 GIS 技术, 共生成各类基础图、评价成果图 26 件以及评价专题资料, 在此基础上可以直观地指导作物种植和科学施肥管理, 更进一步还可以进行农业产业发展决策和农林作物的种植适宜性评价。

(2) 总体来看, 云县耕地质量在国家标准地力等级体系中, 处于中等偏下水平。云县没有 1 级耕地分布, 2~4 级耕地有少量分布, 占全县耕地 8.23%, 主要分布于低热河谷坡度平缓的河流低阶地区, 区域内灌溉设施完善, 光温水气热综合条件好, 土地利用没有限制, 宜种性广, 作物能获得高产、稳产。5~10 级耕地分布较多, 占全县耕地 91.77%, 主要分布在倾斜侵蚀剥蚀低台地、起伏侵蚀剥蚀低台地、起伏河流高阶地山区, 区域内灌溉排涝设施欠缺, 宜种性、可耕性一般至较差程度, 土地利用受到不同限制, 宜加强水利排灌设施建设, 增施有机肥, 因地制宜地科学施肥, 以提高作物产量。其中, 9~10 级耕地分布平均坡度在 25.51°以上, 土地利用受到限制, 宜种性差, 作物基本不能获得高产, 应加强治水改土, 扩种绿肥, 推广秸秆还田增加土壤有机质, 进行科学施肥达到提高地力目的。

参考文献:

- [1] 张兴嘉, 蔡力群, 董 博. 基于县域耕地资源管理信息系统的土壤综合肥力评价研究[J]. 水土保持研究, 2012(4): 138-141.
ZHANG Xing-jia, CAI Li-qun, Dong Bo. Based on the county cultivated land resources comprehensive management information system of soil fertility evaluation research[J]. *Journal of Soil and Water Conservation Research*, 2012(4): 138-141. (in Chinese)
- [2] 陈宏金, 朱 艳, 刘小军. 基于 GIS 的土壤综合肥力评价研究[J]. 农机化研究, 2008, 1(1): 28-30.
CHEN Hong-jin, ZHU Yan, LIU Xiao-jun. Soil comprehensive fertility evaluation based on GIS research[J]. *Agricultural Mechanization Research*, 2008, 1(1): 28-30. (in Chinese)
- [3] 陈和彦. 基于 ArcGIS 的云县核桃种植规划方法探讨[J]. 林业调查规划, 2012(5): 12-17.
CHEN He-yan. YunXian walnut planting planning method based on ArcGIS[J]. *Forestry Survey Planning*, 2012(5): 12-17. (in Chinese)
- [4] 高 英. 湖北省区域耕地地力评价指标体系研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2010.
GAO Ying. Evaluation index system of Hubei Province farmland productivity research[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2010. (in Chinese)
- [5] 龙惠芳, 郭 熙, 赵小敏, 等. 基于 GIS 的县域耕地地力评价研究[J]. 江西农业大学学报, 2009, 31(2): 359-363.
LONG Hui-fang, GUO Xi, ZHAO Xiao-min, et al. Based on GIS county farmland productivity evaluation study[J]. *Journal of Jiangxi Agricultural University*, 2009, 31(2): 359-363. (in Chinese)
- [6] 全国农业技术推广服务中心. 耕地地力评价[M]. 北京: 中国农业科学出版社, 2009.
National Agricultural Technology Extension Service Center. The cultivated land fertility evaluation[M]. Beijing: China Agricultural Science Publishing House, 2009. (in Chinese)
- [7] 庄锁发. 基于层次分析法的综合评价模型[J]. 合肥工业大学学报, 2000, 23(4): 582-590.
ZHUANG Suo-fa. The comprehensive evaluation model based on analytic hierarchy process(ahp)[J]. *Journal of Hefei University of Technology*, 2000, 23(4): 582-590. (in Chinese)
- [8] 中华人民共和国农业部. 耕地地力调查与质量评价技术规程[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
Agriculture of the People's Republic of China. The cultivated land survey of soil fertility and quality evaluation of technical regulations[S]. Beijing: China Standard Press, 2008. (in Chinese)
- [9] 王瑞燕. 基于 GIS 和 RS 技术的耕地地力评价研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2004.
WANG Rui-yan. Evaluation of farmland productivity based on GIS and RS technology research[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2004. (in Chinese)
- [10] 袁秀杰, 赵庚星, 朱雪欣. 平原区和丘陵区耕地地力评价及其指标体系衔接研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(7): 65-70.
YUAN Xiu-jie, ZHAO Geng-Xing, ZHU Xue-xin. Plain and hilly cultivated land fertility evaluation and index system of cohesion study[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2008, 24(7): 65-70. (in Chinese)
- [11] 云县地方志编纂办公室. 云县年鉴 2013[M]. 昆明: 云南美术出版社, 2013.
YunXian Office of Local Chronicles Compilation. YunXian yearbook 2013[M]. Kunming: Yunnan Fine arts Publishing House, 2013. (in Chinese)