

基于 GIS 的前哨农场耕地地力评价

冯晓娟, 雷国平, 张 慧, 周 浩

(东北农业大学 资源与环境学院, 哈尔滨 150030)

摘 要: 准确地掌握区域耕地地力等级及其空间分布格局, 对于提高耕地生产能力具有重要的参考价值。以黑龙江垦区的前哨农场为研究区, 以耕地地块为评价单元, 在 GIS 的支持下, 应用层次分析法、模糊数学法、综合指数法定量评价了耕地地力, 进而分析耕地地力空间地域分布特征与规律。结果表明: 农场耕地地力划分为 6 个级别, 旱地和水田都是三级地、四级地数量最多, 呈现向五级地、二级地、六级地和一级地逐次减少的正态分布特征; 大部分耕地的地力处于中上等水平, 且水田地力水平略高于旱地; 西南部的第一、第二和第九管理区土壤质地良好、养分丰富、管理措施得当, 是该农场优质耕地的集中分布区域。

关键词: 耕地地力; GIS; 前哨农场

中图分类号: F301.21

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2014)01-0198-05

Evaluation of the Farmland Fertility of Qianshao Farm Based on GIS

FENG Xiao-juan, LEI Guo-ping, ZHANG Hui, ZHOU Hao

(College of Resources and Environment, Northeastern Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: It is important reference value to control the characteristics of arable land fertility and spatial distribution pattern accurately for improving the production capacity of arable land. Heilongjiang reclamation area's Qianshao Farm was selected as the study area, the plots of land was put as evaluation units, and the quantitative valuation procedure was realized by adopting analytical hierarchical process, fuzzy math, integrating indexes and by the support of GIS techniques. Then we further analyzed the overall characteristics of arable land fertility and spatial distribution of geographical and administrative area. The results showed that farmland fertility was divided into six levels, at the same time, the soil fertility both presented normal distribution characteristics with the third-class and the fourth-class for the peak, and gradually reduced to the fifth-class, the second-class, the sixth-class and the first-class; the fertility of the most arable land was in the middle or upper levels, and paddy field fertility level was slightly higher than that of dry land fertility level because the paddy soil was in high quality and rich in nutrients as well as with proper management; the first, the second and the ninth precincts are in the southwest of Qianshao Farm were the farm's high quality arable land concentrates.

Key words: arable land fertility; GIS; Qianshao Farm

耕地是具有一定地力与质量特点的、不可再生的自然资源, 是确保我国粮食安全的重要物质基础^[1]。耕地地力是由立地条件、土壤条件和农田基础设施及培肥水平等人文与自然因素共同影响并决定的^[2-6]。由于人类活动加剧和自然条件恶化的双重作用, 耕地地力不断发生着隐性的改变, 进而影响到农作物的产量和质量^[7]。目前关于耕地地力方面的研究大都集中在对丘陵区、山地区以及两区过渡地带的评价^[8-12]方面, 而针对平原区尤其是垦区的研究较少, 且多利用土

壤图、土地利用现状图、行政区划图等图件进行叠加分析来确定评价单元^[13-15], 而缺乏考虑土壤图在实地中的界限模糊性, 形状的不规则以及图件本身精度不高等因素, 形成的评价单元不利于实际应用。本文以典型平原垦区的建三江分局前哨农场为研究区, 综合考虑垦区土地利用类型较为单一、土地集中连片度很高、地块内部差异性小而地块间差异性较大等特点, 采用地块法来划分评价单元, 在 GIS 的支持下, 应用层次分析法、模糊数学法、综合指数法计算耕地地力得分并划

收稿日期: 2013-06-04

修回日期: 2013-06-24

资助项目: 国家科技支撑计划项目(2008BAD96B02)

作者简介: 冯晓娟(1987—), 女, 河南郑州人, 硕士研究生, 研究方向: 土地利用与规划。E-mail: fxj0607@163.com

通信作者: 雷国平(1963—), 男, 黑龙江青冈人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为土地利用与规划。E-mail: guopinglei@126.com

分地力等级,探寻研究区耕地地力特征及空间分异规律,旨在为保护典型黑土区稀缺而有限的耕地资源提供重要基础数据,为制订有关农业政策、实行地力补偿培肥制度、改良中低产田、建设高标准基本农田以及为土地的征用和转让等提供依据,也为其他地区开展类似研究提供参考。

1 研究区概况

前哨农场位于黑龙江省东北部的抚远县境内,隶属黑龙江省农垦总局建三江管理局。其地理坐标为东经 134°01′37″—134°32′25″,北纬 47°48′52″—48°08′54″,属中高纬度寒温带大陆季风气候区。冬季寒冷漫长,夏季多雨、短促而炎热。年平均气温 1.7℃,年稳定通过≥10℃的活动积温在 2 192.5~2 718.2℃之间,年无霜期为 135 d,年降水量 566.4 mm。现辖 9 个管理区,16 个作业站,场直单位 9 个,总人口 1.2 万人。农场地势东北高,西南低,形成狭长的微坡漫岗地,岗中碟型线型封闭性洼地星罗棋布,重者常年积水。农场土壤类型以草甸白浆土和潜育白浆土为主,还有部分沼泽地和泛滥地等^[16]。2011 年,农场土地总面积为 6.6 万 hm²,其中耕地面积达 3.8 万 hm²。

2 材料与方法

2.1 数据来源与处理

首先,将收集到的前哨农场土地利用现状纸制图件(2009 年)经完整性检验后进行计算机图像扫描,并在 ArcGIS 软件下进行配准,建立相关图层、字段、工作表和工作空间,对其进行矢量化处理,从而提取土地利用现状图的旱地地块和水田地块,来构建空间图形数据库和属性数据库;然后在整个农场耕地范围内均匀分布采样点,并对采样点进行土壤理化性质(包括 pH 值、有机质、有效磷、速效钾、CEC 等)化验,在手持 GPS 定位测得采样点大地坐标的基础上建立样点属性数据库;最后将收集到的该农场地块登记的文本资料(地块名称、权属、地类面积等),每个地块的耕层厚度、排涝能力、抗旱能力、地形部位、质地 5 项指标的调查数据,对应录入各地块属性数据表,同样将化验结果数据对应录入各采样点的属性数据表。

2.2 研究方法

本研究利用 ArcGIS 9.3 和 Access 等软件作为空间数据处理工具,在 Excel、SPSS 数据统计分析软件中处理属性数据;以土地利用现状图中旱地和水田地块为评价单元分别进行评价,运用模糊评价法确定评价因子的隶属度,运用特尔斐法确定评价因子的权重值,然后采用累加法计算出耕地的综合地力指数,

运用等间距法划分出地力等级,最后生成耕地地力评价等级图。

3 耕地地力评价

3.1 评价单元的划分

评价单元是耕地地力评价的基本单位。评价单元划分方法的选择,直接关系到耕地地力等级划分的准确性以及工作量的大小,是做好耕地地力评价工作的基础和先决条件^[17]。常用的叠置法对地形、土壤类型和土地利用类型复杂的地区较为实用,而黑龙江垦区各农场条件则恰恰相反。其地理条件良好,地势平整,地形、土地利用类型比较单一,加之地块界限清晰、历史生产档案完备和地块内部农业生产措施(种植作物、栽培方法、农药和化肥的使用等)基本一致的特点使得地力评价采用地块法较为合适。本文选取土地利用现状图中的 1 816 个耕地地块为评价单元。其中 792 个旱地评价单元,1 024 个水田评价单元。

3.2 评价指标的选择和权重的确定

在遵循综合性、稳定性、主导性、差异性等原则的基础上,参照“全国耕地地力调查与质量评价指标体系”,结合垦区农场耕地实际特点,分别从耕层立地条件、耕层养分性状、耕层理化性状和耕层管理 4 个方面确定了前哨农场耕地地力评价指标集,包括地形部位、质地、排涝能力、灌溉能力、pH 值、CEC、有机质、有效磷、速效钾、耕层厚度 10 个评价指标,采用层次分析法对各个评价指标赋予不同的权重。对各评价指标构造层次结构,咨询相关领域的专家学者,并利用 1~9 重要性分值对各成对指标进行打分来判断其相对重要性,构建各评价指标判断矩阵,运用 yaahp 层次分析法软件计算各评价指标权重值并通过一致性检验(表 1)。

表 1 评价因子权重

目标层	准则层	指标层	单因子权重	组合权重
耕地 耕层	立地条件 (0.1634)	耕层厚度	0.6667	0.1089
	养分性状 (0.4300)	地形部位	0.3333	0.0545
		有效磷	0.2500	0.1075
		速效钾	0.2500	0.1075
		有机质	0.5000	0.2150
地力 评价	理化性状 (0.2310)	质地	0.6144	0.1420
		pH 值	0.2684	0.0620
		CEC	0.1172	0.0271
评价	水分管理 (0.1756)	灌溉能力	0.6667	0.1170
		排涝能力	0.3333	0.0585

3.3 评价单元的赋值

耕地资源管理单元图的每个图斑都必须含有参与评价指标的属性数据。对于通过田间采样分析获

得的 pH 值、CEC、有机质、有效磷、速效钾等土壤理化性状因子,用克吕格插值法将点位分布图转换为能够代表面状特征的栅格图,再根据定义好的各指标的隶属函数计算出单因素评价评语,然后将分值栅格图与矢量格式的评价单元图叠加,利用评价单元图对落入其内部的栅格单元进行分区统计,以每个评价单元内所有栅格单元的平均值作为该评价指标在这个评价单元内的取值。

土壤质地、耕层厚度、地形部位、排涝能力、灌溉能力等评价因子可以直接由地块档案或其他文本资料获取,通过隶属函数计算该指标的评语。

3.4 确定各评价因子的隶属度

参评的各个指标既有定量的又有定性的,因此首先需要用模糊评价法将每个参评的指标进行统一量化。应用模糊子集、隶属函数和隶属度的概念,可以将耕地地力单指标评价的问题定量化。耕地地力评价中常用的隶属函数可以分为戒上型函数、戒下型函

数、峰型函数、直线型函数以及概念型等五种类型^[18]。对于前四种类型,可以根据专家经验对一组指标值给出对应的隶属度,并根据这两组数据用 SPSS 13.0 软件拟合隶属函数,计算出隶属函数的参数(表 2)。概念型直接由专家打分给出隶属度(表 3)。

3.5 计算耕地地力综合指数

采用累加法计算各评价单元综合地力指数,其计算公式为:

$$IFI=\sum(F_i\times C_i)\quad(i=1,2,3,\cdots,n)$$
式中:IFI——耕地地力综合指数; F_i ——第 i 个评价因子的隶属度; C_i ——第 i 个评价因子的组合权重。

耕地地力综合指数的计算公式如下:

$$\begin{aligned} IFI= & 0.0620F_{\text{pH}}+0.2150F_{\text{有机质}}+0.1075F_{\text{有效磷}} \\ & +0.1075F_{\text{速效钾}}+0.1089F_{\text{耕层厚度}} \\ & +0.1170F_{\text{灌溉能力}}+0.0585F_{\text{排涝能力}} \\ & +0.0545F_{\text{地形部位}}+0.0271F_{\text{CEC}}+0.1420F_{\text{质地}} \end{aligned}$$

表 2 定量化指标及其隶属函数

函数类型	评价指标	隶属函数	参数
戒上型	有机质/(g·kg ⁻¹)	$y=100/(1+0.0012(\mu-c)^2)$	$c=80.9,\mu_t=23.00$
戒上型	有效磷/(mg·kg ⁻¹)	$y=100/(1+0.0025(\mu-c)^2)$	$c=40.50,\mu_t=5.00$
戒上型	速效钾/(mg·kg ⁻¹)	$y=100/(1+0.000135(\mu-c)^2)$	$c=249.0,\mu_t=40.0$
峰型	水田耕层厚度/cm	$y=100/(1+0.0101(\mu-c)^2)(\mu<25.13)$	$c=25.13,\mu_{t1}=10.0$
		$y=100/(1+0.0018(\mu-c)^2)(\mu\geq 25.13)$	$c=25.13,\mu_{t1}=40.0$
戒上型	旱地耕层厚度/cm	$y=100/(1+0.0061(\mu-c)^2)$	$c=35.11,\mu_t=10.0$
戒上型	CEC/(cmol·kg ⁻¹)	$y=100/(1+0.0687(\mu-c)^2)$	$c=150.0,\mu_t=15.0$
峰型	pH 值(水田)	$y=100/(1+0.62(\mu-c)^2)$	$c=6.25,\mu_{t1}=500,\mu_{t2}=7.00$
峰型	pH 值(旱地)	$y=100/(1+0.45(\mu-c)^2)$	$c=6.98,\mu_{t1}=5.50,\mu_{t2}=7.50$

表 3 概念型评价指标隶属度

	分级	隶属度	分级	隶属度	分级	隶属度	分级	隶属度	分级	隶属度
地形部位(旱地)	平地	1	岗地	0.7	漫岗地	0.8	洼地	0.4		
地形部位(水田)		0.8		0.7		1		0.5		
质地	壤土	1	壤黏土	0.8	壤砂土	0.7	黏土	0.5	砂土	0.4
灌溉能力	强	1	较强	0.8	中	0.7	较弱	0.5	弱	0.4
排涝能力	强	1	较强	0.8	中	0.7	较弱	0.5	弱	0.4

4 结果与分析

4.1 地力等级划分及面积统计

运用上述公式计算得出,农场耕地综合指数最大值为 91.51,最小值为 53.16,采用等间距法进行地力划分,将农场地力划为 6 个等级(表 4)。其中旱地综合指数最大值为 88.24,最小值为 53.16,均值为 70.43,标准差为 5.53。水田综合指数最大值为 91.51,最小值为 65.11,均值为 74.54,标准差为 4.72。

农场耕地总面积为 38 936.7 hm²,一级地到六级

地的面积分别为 795.9,7 230.2,12 066.0,11 389.2,6 267.1,1188.3 hm²,所占的比例分别为 2.04%,18.57%,30.99%,29.25%,16.10%和 3.05%。

农场旱地总面积为 14 089.1 hm²。其中四级地在各等级中的面积最大,为 4 734.6 hm²,占旱地总面积的 33.60%;一级地和六级地的面积较小,分别为 61.6 hm² 和 358.7 hm²,占旱地总面积的比例分别为 0.44%和 2.55%;二级地、三级地、五级地的面积分别为 2 238.9 hm²,3 691.1 hm²,3 004.2 hm²,在旱地总面积中所占的比例分别为 15.89%,26.20%,21.32%。

表 4 地力分级情况统计

地力等级	地力综合指数 IFI	面积/hm ²	百分比/%	旱地 面积/hm ²	所占旱地 百分比/%	水田 面积/hm ²	所占水田 百分比/%
一级	>84.0	795.9	2.04	61.6	0.44	734.3	2.96
二级	78.0~84.0	7230.2	18.57	2238.9	15.89	4991.3	20.09
三级	72.0~78.0	12066.0	30.99	3691.1	26.20	8374.9	33.71
四级	66.0~72.0	11389.2	29.25	4734.6	33.60	6654.6	26.78
五级	60.0~66.0	6267.1	16.10	3004.2	21.32	3262.9	13.13
六级	<60.0	1188.3	3.05	358.7	2.55	829.6	3.34
总计		38936.7	100	14089.1	100	24847.6	100

农场水田总面积为 24 847.6 hm²。在水田地力各等级中,三级地的面积最大,为 8 374.9 hm²;四级地和二级地的面积次之,分别为 6 654.6 hm² 和 4 991.3 hm²,分别占水田总面积的 26.78% 和 20.09%;五级地的面积为 3 262.9 hm²,所占比例为 13.13%;一级地和六级地的面积最小,分别为 734.3 hm² 和 829.6 hm²,所占比例分别为 2.96% 和 3.34%。

农场二三四级耕地占农场耕地总面积的比例之和高达 80.58%,表明农场耕地地力整体上处于中上等水平。水田的平均综合指数(64.54)大于旱地(60.43),且水田的均方差(4.72)小于旱地(5.53)。表明水田地力水平高于旱地,且各地力等级数量分布相对较均匀,差异较小。在旱地和水田划分的 6 个地力等级中,两者的一级地和六级地面积也都相对较小,所占比例均不足 5%;旱地的三级地和四级地面积较大,二者所占比例之和接近旱地总面积的三分之二;水田的二、三、四级地在水田总面积中所占比例均在 20% 以上,尤其是三级地,所占比例为 33.71%。

4.2 耕地地力空间分析

利用 GIS 的空间分析功能,利用与评价单元属性相连的图形空间数据库直观地了解到旱地和水田各等级耕地的空间分布(图 1—2)。

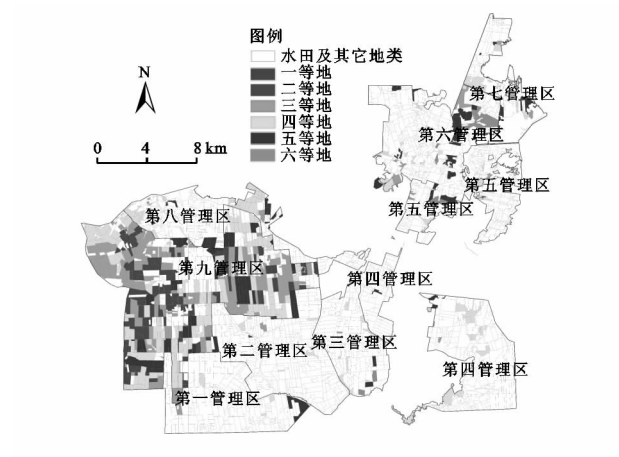


图 1 旱地地力分级

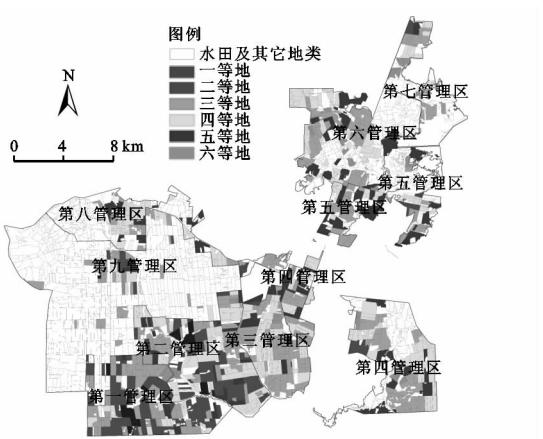


图 2 水田地力分级

从图 1 可以看出,农场旱地地块相对较少,主要集中在西部和东北部,其他区域也有零星分布。旱地一级地、二级地和三级地大量分布在农场的西南部,即第九管理区。该区旱地条件较好,超过了一级地、二级地和三级地总面积的 80.53%。该区域土壤养分丰富,质地良好,土地平整,耕地基础设施完善,是高产稳产的旱作良田。四级地和五级地在农场各管理区内均有分布,其中在第八、第九管理区内分布的最多。第四管理区的所有旱地地块都属于这两个级别。该类耕地土壤养分条件、质地等较好,耕地配套设施比较完善。六级地在农场的分布较少,主要分布于农场的东北部,且主要是第五、第六管理区,这一区域在六级地总面积中所占比例超过了 88.78%。该类耕地是农场的中低产田,是需要进行改良的耕地。

从图 2 可以看出,水田一级地和二级地集中分布在西南部,其中第一、第二、第九管理区的中部分布最多。尤其是第一、第二管理区,占水田一级地、二级地总面积的 79.68%。该区土壤养分丰富,质地良好,适于水稻种植。三级地和四级地在全场范围内分布分散,在农场的各个方位都有分布,其中在第三、第四、第五、第六管理区分布较多。土壤养分条件较好,质地良好,在耕地中所占比例较大,代表了耕地的主

体情况。五级地和六级地集中分布在中部和东北部,第五、第六管理区所占的比例较大,占该两级地总面积的约 76.13%。另外,五级地在农场的西北部和东南部也有零散分布,五级地和六级地分布区土壤营养条件较差,土壤质地的沙性增加,跑水跑肥,使耕地地力下降。

综上,旱地和水田的各地力级别在各管理区的分布差别较大;农场优质耕地分布集中,单是分布在第九管理区的旱地,其一级地和二级地就占该农场旱地一级地、二级地总面积的 95% 以上;对于分布在第一、第二管理区中的水田,其一级地和二级地占农场水田一二级总数的 79.68%。这 3 个管理区是农场高产稳产的集中地区。三级地和四级地分布比较零散,在各管理区均有分布。五级地和六级地则多分布在第五管理区和第六管理区。

5 结论

(1) 地理信息系统具有强大的空间数据处理和分析功能,不仅可以成功地支持整个耕地地力评价过程、可视化地力的空间分布,还可以获得评价区的深层次的信息。本文的研究和实地调查表明,利用 GIS 可以快速有效地对耕地地力进行科学评价,比传统的评价方法可以节约大量的人力、物力和财力。

(2) 在地力评价中,利用层次分析法和模糊综合评价方法,可在一定程度上减少评价者主观因素的影响,能更准确地反映耕地的地力差异,提高耕地地力评价结果的精度。

(3) 评价单元的划分并未采用惯用土壤图与土地利用现状图叠置的划分法,而是选择了与农场实际土地利用方式相吻合的地块法。由于地块内生产环境、管理水平、生产水平比较相近,使得评价结果更具科学性、客观性,可以较直观地将评价结果落到实地,且便于指导实际生产。

(4) 本文基于农场耕地地力评价结果,对旱地和水田的数量结构和空间分布分别进行了统计和分析,这为全场不同农作物的种植和管理提供了一个很好的参考指标,具有较强的指导意义和实用价值。此外,通过此次评价,还可以对发现的中低产田采取有效的手段进行改造,趋利避害。

参考文献:

- [1] 陈署晃,耿庆龙,张昀,等. 基于 GIS 的新疆县级耕地地力评价研究[J]. 新疆农业科学,2010,47(1):184-188.
- [2] 王瑞燕,赵庚星,李涛,等. GIS 支持下的耕地地力等级评价[J]. 农业工程学报,2004,20(1):307-310.
- [3] 王蓉芳,曹富有,彭世琪,等. 中国耕地基础地力与土壤改良[M]. 北京:中国农业出版社,1996.
- [4] 宋戈,李丹,梁海鸥,等. 松嫩高平原黑土区耕地质量特征及其空间分异[J]. 经济地理,2012,32(7):129-134.
- [5] 张兴义,张少良,刘爽,等. 严重侵蚀退化黑土农田地力快速提升技术研究[J]. 水土保持研究,2010,17(4):1-5.
- [6] 李品荣,孟广涛,李国昌. 不同土地利用方式下土壤地力变化和水土流失状况研究[J]. 水土保持研究,2009,16(3):95-99.
- [7] 金涛,陆建飞. 江苏粮食生产地域分化的耕地因素分解[J]. 经济地理,2011,31(11):1886-1890.
- [8] 鲁明星,贺立源,吴礼树,等. 基于 GIS 的华中丘陵区耕地地力评价研究[J]. 农业工程学报,2006,22(8):96-101.
- [9] 刘京,常庆瑞,陈涛,等. 黄土高原南缘土石山区耕地地力评价研究[J]. 中国生态农业学报,2010,18(2):229-234.
- [10] 王良杰,赵玉国,郭敏,等. 基于 GIS 与模糊数学的县级耕地地力质量评价研究[J]. 土壤,2010,42(1):131-135.
- [11] 裴久渤,汪景宽,李慧,等. 辽东山区桓仁县坡耕地基础地力评价研究[J]. 土壤,2012,44(3):429-435.
- [12] 李品荣,陈强,常恩福,等. 滇东南石漠化山地不同退耕还林模式土壤地力变化初探[J]. 水土保持研究,2008,15(1):65-71.
- [13] 张海涛,周勇,汪善勤,等. 利用 GIS 和 RS 资料及层次分析法综合评价江汉平原后湖地区耕地自然地力[J]. 农业工程学报,2003,19(2):219-223.
- [14] 马廷刚,常庆瑞,赵业婷,等. 陕西省武功县耕地地力评价研究[J]. 水土保持通报,2011,31(2):186-189.
- [15] 黄健,李会民,张惠琳,等. 基于 GIS 的吉林省县级耕地地力评价与评价指标体系的研究:以九台市为例[J]. 土壤通报,2007,38(3):422-426.
- [16] 张德斌,王新民,等. 前哨农场场史(2000-2005)[Z]. 前哨农场场史办公室,2006.
- [17] 段连臣,高吉文,刑少杰. 黑龙江省北兴农场耕地地力评价研究[J]. 中国农学通报,2011,27(33):180-186.
- [18] 任家强,汪景宽,李双异,等. 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.