

黄 聪,赵小敏,郭 熙,等. 江西省耕地地力评价及养分分析[J]. 江苏农业科学,2016,44(9):421-425.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.09.119

江西省耕地地力评价及养分分析

黄 聪,赵小敏,郭 熙,谢 文,余锦鹏,张佳佳

(江西农业大学/江西省鄱阳湖流域农业资源与生态重点实验室,江西南昌 330045)

摘要:在应用 GIS 软件的基础上,以江西省为研究区域、耕地为评价对象,通过土地利用现状图与土壤图的叠加获取评价单元,结合江西省实际情况,选取立地条件、剖面性状、耕层状况和土壤管理等 4 个方面的 13 个指标构建评价体系,遴选土壤样点获取耕地养分数据,在评价单元获取相应属性数据后,结合特尔菲法和层次分析法确定权重,在省级耕地资源管理信息系统中构建层次分析模型和隶属度模型,计算耕地地力综合指数,采用累积频率曲线法对江西省耕地进行分等定级,并对耕地等级及其养分含量进行定量分析。此耕地地力评价实现了自动化、批量化和可视化,评价结果对测土配方施肥和今后耕地资源的管理工作都有重要的指导意义。

关键词:耕地地力评价;地理信息系统;省级耕地资源管理信息系统;土壤养分;江西省;分等定级

中图分类号: F301.24 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)09-0421-05

耕地在农业生产过程中扮演着重要的角色,是最为基本的生产资料,耕地地力的高低能直接影响我国主要农产品的供应,以及农业生产和发展。耕地地力是耕地各因素组成的综合基础生产能力,是耕地土壤的剖面性状、理化性状、立地条件、自然环境、农田排灌及施肥情况等因素的综合体现^[1]。地理信息系统(GIS)及相关数据库软件在土地评价当中的应用越来越深入^[2]。刘东海等对武汉市汉南区的耕地进行了耕地地力评价的研究^[3];侯浩等应用 GIS 技术,基于耕地第二次土壤普查结果,结合“测土配方施肥”相关数据,对耕地进行分级^[4];另外,许泉立等学者对 GIS 技术在耕地地力评价过程中的应用进行了探索^[5-7]。基于 GIS 的耕地地力评价,推动了评价向量化及自动化的方向发展,并且对数据更新也可以做到及时化,使耕地地力评价工作的开展越来越高

效^[8]。本研究旨在探讨运用 GIS 技术,结合现代统计分析技术,进行江西省省级层面耕地地力评价。

1 研究区概况与基础资料

1.1 研究区概况

江西省在我国东南部,地处长江中下游靠南边的位置,地理坐标为 113°34'36"~118°28'58"E,24°29'14"~30°04'41"N。江西省地貌主要由山地和丘陵构成,地势较高处大多位于省界。全省气候温暖,并且日照充足,雨量充沛,但总体有一定差异,东部和南部降雨较多。全省总面积 16.69 万 km²,承载着 4 500 多万人口,下辖南昌市、赣州市和九江市等 11 个区。江西省共有耕地 3 084 983.79 hm²,其中水田为 2 497 511.01 hm²,在总耕地面积中占比达到 80.96%,旱地仅为 18.48%,并且还有 17 417.05 hm²的水浇地。江西土壤主要由红壤、黄壤、山地黄棕壤、山地草甸土、紫色土、潮土、石灰土以及水稻土等土壤类型组成。

1.2 基础资料与数据预处理

江西省耕地地力评价收集的资料中,基础数据资料有全省已完成的县级耕地地力评价相关资料、全省县级样点数据库、土壤野外调查资料等;专题图件资料有江西省土地利用现状图、全省县级排水和灌溉图、地形图、土壤图、地貌图、行政

收稿日期:2015-12-30

基金项目:国家自然科学基金(编号:41361049);江西省自然科学基金(编号:20122BAB204012)。

作者简介:黄 聪(1991—),男,江西鹰潭人,硕士研究生,研究方向为土地评价与土地规划。E-mail:huangc3751@163.com。

通信作者:赵小敏,教授,博士生导师,主要从事土地可持续利用、土地规划与信息技术方面研究。E-mail:zhaoxm889@126.com。

[3] 王生明. 无人机影像几何精校正研究[D]. 成都:西南交通大学,2014.

[4] 陈 姣. 无人机航摄系统测绘大比例尺地形图应用研究[D]. 昆明:昆明理工大学,2013.

[5] 史占军,于志忠,郭志强. 无人机摄影测量在 1:2 000 地形图的应用[J]. 吉林地质,2011,30(3):133-136.

[6] 冯 涛. 浅谈南方测图软件 CASS 进行地形图编绘[J]. 新疆有色金属,2011(增刊 1):74-75.

[7] 崔珍珍,周金国. 无人机航摄系统在 1:1 000 地形图测绘中的应用[J]. 地矿测绘,2014(4):29-31.

[8] 许剑锋. 无人机航摄在农村土地承包经营权试点中的应用[C]//太原市中小企业工程技术人才发展促进会. 工程技术发展论文集. 太原,2015-01-08:365.

[9] 尚海兴,黄文钰. 无人机低空影像在地形图测绘中的应用[J]. 地理空间信息,2013,11(3):29-31.

[10] 万保峰. 无人机低空航摄系统在云南山区 1:2 000 地形图测绘中的应用[J]. 山东工业技术,2015(11):234-235.

[11] 李 雷,张海涛,李 兵. 无人机影像在大面积 1:2 000 地形图测绘中的应用研究[J]. 测绘通报,2012(增刊 1):457-461.

[12] 肖鹏飞,罗倩倩. SWOT 分析在城市规划中的应用误区及对策研究[J]. 城市规划学刊,2010(增刊 1):78-82.

[13] 申 或. SWOT 分析在区域可持续发展定位中的应用[D]. 厦门:厦门大学,2009.

[14] 胡玮炜,韩笑非. 城市规划中 SWOT 分析的应用误区和应对策略探析[J]. 河南科技,2014(6):228.

区划图、水土流失图等;其他资料有农业部门第二次土壤普查资料、江西省统计年鉴、《江西土壤》、国土部门江西省土地变更调查表、江西省农用地分等相关资料、进行肥料试验的数据、耕地资源管理信息系统数据字典等。首先要在收集数据的基础上获取评价单元,目前对耕地地力评价单元的划分有很多方法,比如地块法、网格法和叠加法等,但至今没有一个系统的划分标准^[9],此次耕地地力评价先通过土壤图、行政区划图及耕地图层进行叠加裁剪获取评价单元。

2 研究方法

本研究是以 GIS 软件为基础,对江西省耕地地力进行评价,在基础资料收集的基础上划分评价单元,然后依据江西省实际情况建立评价指标体系,并获取评价单元属性数据,通过构建层次分析模型和隶属函数模型计算综合评价分值,最后对评价单元进行分等定级。

2.1 建立评价指标体系

评价指标的选取是评价过程的关键环节,指标选取的科学性对评价结果的准确性有重要影响^[10]。此次评价在获取容易、差异性、稳定性显著、可比性等原则下进行。针对江西省具体情况,邀请该领域有经验的专家,依据全国耕地地力评价指标体系,从中选取确定了立地条件、剖面性状、土壤管理和耕层状况 4 方面的 13 个因素作为江西省耕地地力评价的指标。

耕地评价指标体系确定好后,要获取影响评价单元地力的属性数据,即建立空间数据库。通过查看江西省第二次土壤普查的资料,获取土体构型、土壤质地和成土母质等属性;然后通过地形图提取坡度;接着进行数字化来获取土壤侵蚀图;并对排灌图和地貌类型图进一步处理;最后是遴选土壤样点,对样点数据进行空间插值和丰缺度分析。江西省土壤样点数据遴选是在县级耕地地力评价的基础上进行的,这些样点数据量大,要对县级土壤样点数据进行遴选。遴选过程中,先对数据进行前期处理,如对字段进行标准化处理、样点图投影到与土地利用现状图同一投影坐标系、删除异常样点等;遴选时反复调整,选取最有代表性的样点,采用网格法、配合 ArcGIS 软件的抽稀功能、通过养分丰缺度分析进行人工反馈;对初步遴选结果进行定性定量分析,并作出相应的校正,检查是否有点漂移,以及是否有属性数据变异太大等情

况^[11]。通过以上对土壤样点数据的严格筛选,最后在全省范围内遴选出土壤样点。具体如图 1 所示。

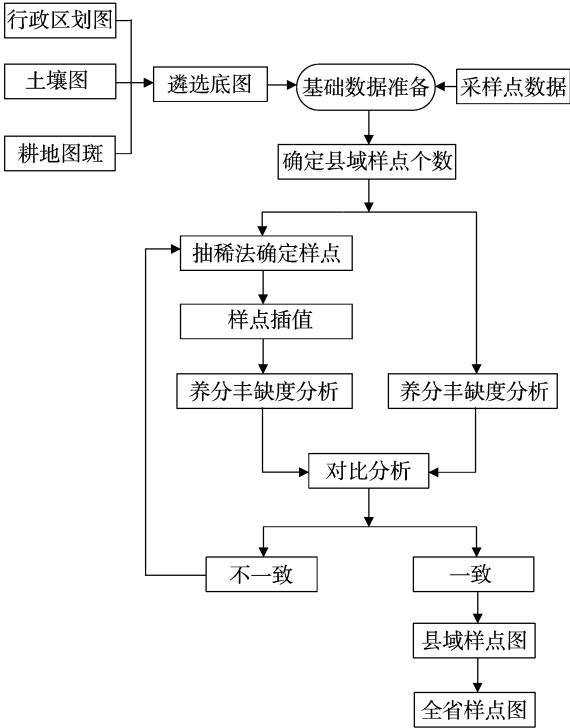


图1 土壤样点遴选技术路线

2.2 数据标准化及权重的确定

评价指标体系确定之后,先对所有获取的评价指标数据进行无量纲化处理。对于定性与定量评价指标分别采用专家打分法和模糊评价法综合确定各指标的隶属度函数,隶属度值范围为 0~1,完全符合该隶属度时为 1,部分符合时介于 0 到 1 之间^[12]。指标分级中的专家打分范围也是设定为 0~1。此次评价指标与耕地地力之间的关系有戒上型、戒下型、概念型及峰型 4 种不同类型的隶属函数,也可进一步归为数值型和概念型 2 种类型。对于概念型的指标,其隶属度就是专家打分的分值;对于数值型,隶属度由其隶属函数计算而来,其中,戒上型的为有效磷含量、速效钾含量、耕层厚度和有机质含量,戒下型的为坡度,峰型的为 pH 值。具体专家打分情况及拟合的隶属函数如表 1 和表 2 所示。

表 1 指标分级及专家打分

指标名称	分级标准	等级	专家打分	指标名称	分级标准	等级	专家打分
质地	中壤	1 级	1.00	坡度	0~2°	1 级	1.0
	轻壤	2 级	0.85		>2~6°	2 级	0.8
	重壤	3 级	0.80		>6~15°	3 级	0.6
	沙壤	4 级	0.70		>15~25°	4 级	0.3
	黏土	5 级	0.60		>25°	5 级	0.1
	沙土	6 级	0.45	地貌类型	平原	1 级	1.0
pH 值	6.0~<7.9	1 级	1.00		丘陵	2 级	0.7
	5.5~<6.0,7.9~<8.5	2 级	0.90		山地	3 级	0.4
	5.0~<5.5,8.5~<9.0	3 级	0.77	土壤侵蚀程度	无	1 级	1.0
	4.5~<5.0	4 级	0.64		弱	2 级	0.9
	≤4.5,9.0~<9.5	5 级	0.36		中	3 级	0.7
	≥9.5	6 级	0.10		强	4 级	0.4

续表 1

指标名称	分级标准	等级	专家打分	指标名称	分级标准	等级	专家打分
有机质含量(g/kg)	≥45	1 级	1.0	成土母质	河湖沉积物	1 级	1.0
	35 ~ <45	2 级	0.9		第四纪红色土	2 级	0.9
	25 ~ <35	3 级	0.8		第四纪亚红黏土	2 级	0.9
	15 ~ <25	4 级	0.6		下蜀系黄土状物	2 级	0.9
	10 ~ <15	5 级	0.3		泥质岩类风化物	3 级	0.85
	<10	6 级	0.1		基性结晶岩类风化物	4 级	0.8
有效磷含量(mg/kg)	>35	1 级	1.0		红砂岩类风化物	4 级	0.8
	>20 ~ 35	2 级	0.9		碳酸盐岩类风化物	4 级	0.8
	>10 ~ 20	3 级	0.7		石英岩类风化物	5 级	0.7
	>5 ~ 10	4 级	0.4		酸性结晶岩类风化物	5 级	0.7
	≤5	5 级	0.1		紫色岩类风化物	5 级	0.7
速效钾含量(mg/kg)	>200	1 级	1.0	土体构型	海绵型	1 级	1.0
	>120 ~ 200	2 级	0.9		上松下紧型	2 级	0.8
	>80 ~ 120	3 级	0.8		夹层型	3 级	0.7
	>40 ~ 80	4 级	0.6		紧实型、薄层型	4 级	0.5
	≤40	5 级	0.2		上紧下松型	5 级	0.4
					松散型	6 级	0.3
耕层厚度(cm)	≥20	1 级	1	灌溉条件	充分满足	1 级	1.0
	18	2 级	0.9		基本满足	2 级	0.7
	16	3 级	0.8		不满足	3 级	0.4
	14	4 级	0.7	排水条件	充分满足	1 级	1.0
	12	5 级	0.5		基本满足	2 级	0.7
	10	6 级	0.4		不满足	3 级	0.4
	8	7 级	0.3				
	6	8 级	0.1				

表 2 评价指标类型及其隶属函数

指标名称	函数类型	函数公式	<i>a</i>	<i>c</i>	<i>u</i> ₁	<i>u</i> ₂
坡度	戒下型	$y=1/[1+a\times(u-c)]^2$	0.009 145	-2.459 716	-2.459 716	28.91
pH 值	峰型	$y=1/[1+a\times(u-c)]^2$	0.164 494	6.563 377	-0.84	13.96
有机质含量	戒上型	$y=1/[1+a\times(u-c)]^2$	0.001 903	39.376 74	-29.4	39.376 74
速效钾含量	戒上型	$y=1/[1+a\times(u-c)]^2$	0.000 082	168.771 371	-162.53	168.771 371
有效磷含量	戒上型	$y=1/[1+a\times(u-c)]^2$	0.002 375	29.017 402	-32.55	29.017 402
耕层厚度	戒上型	$y=1/[1+a\times(u-c)]^2$	0.023 978	19.834 2	0.46	19.834 2

越来越多的方法运用于评价因素权重的确定中,其中最主要的包含主成分分析法、模糊综合评判法、层次分析法和特尔菲法等^[13]。此次江西省耕地地力评价主要是结合了特尔菲法和层次分析法 2 种方法来确定所选评价指标的权重,首先请相关专家针对各层次的重要性给出各自的量化值,然后结合层次分析法,通过构造判断矩阵,得出各评价指标的组合权重(表 3)。

2.3 构建耕地资源管理信息系统

江西省耕地地力评价过程中,在进行评价单元属性数据获取的阶段,已经在 ArcGIS 中建立起了空间-属性数据库,在此基础上运用江苏省扬州市土壤肥料站开发的省级耕地资源管理信息系统,构建层次分析模型和隶属函数模型,然后对耕地地力评价单元进行分等定级,最后输出评价单元入库表格和耕地地力评价分等图。主要流程包括建立工作空间、导入评价单元、建立层次分析模型和隶属函数模型、建立评价模型,最后进行分等定级。

2.4 综合地力指数确定与分级

在长期的研究与实践当中,累积频率曲线法、聚类法和自然断点法等是耕地地力评价的主要方法,本研究主要采用累

表 3 耕地地力评价指标体系及其组合权重

目标层	准则层	指标层	组合权重
耕地地力评价	立地条件	地貌类型	0.084 0
		土壤侵蚀度	0.040 8
		坡度	0.052 8
		成土母质	0.062 4
		土壤管理	
	土壤管理	排水条件	0.088 0
		灌溉条件	0.112 0
		耕层状况	
		pH 值	0.065 6
		质地	0.123 0
		有机质含量	0.114 8
		速效钾含量	0.061 5
		有效磷含量	0.045 1
	剖面性状	耕层厚度	0.067 5
		土体构型	0.082 5

积频率曲线法对江西省耕地进行分等定级。本研究采用加法模型来计算耕地地力的综合指数(*IFI*),并通过累积频率曲线对耕地等级进行划分^[14]。

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

式中: IFI 表示耕地地力综合指数; F_i 表示第 i 个指标因素的评分值; C_i 表示第 i 个指标因素的权重。

将评价单元导入省级耕地资源管理信息系统中,并建立

了评价模型后,对计算出的耕地地力综合指数进行累积频率曲线图的制作,根据江西省的实际情况,经过专家修正,分为 7 个等级,耕地地力等级划分标准如表 4。

表 4 耕地地力等级划分标准

等级	一等	二等	三等	四等	五等	六等	七等
综合指数 (IFI)	>0.870	>0.835 ~ 0.870	>0.810 ~ 0.835	>0.785 ~ 0.810	>0.760 ~ 0.785	>0.730 ~ 0.760	≤0.730

3 结果与分析

3.1 耕地地力等级划分结果

利用省级耕地资源管理信息系统,对评价单元的属性库进行操作,将全省耕地共分为 7 个等级,然后统计各等级耕地面积及占比情况(表 5)。由分析评价结果可知,江西省耕地地力等级从一等地到七等地的面积近似呈正态分布,质量较好的一等、二等地占耕地总面积的比例为 22.53%,共 695 246.32 hm^2 ;三等到五等耕地的比例较高,占耕地总面积的比例依次为 17.67%、21.09% 和 19.28%;生产力较低的六、七等地面积分别为 426 321.54、173 002.94 hm^2 。

3.2 耕地地力等级空间分布

对耕地评价单元分等定级之后,可以发现耕地等级的高低在地域分布上有明显的规律,由平坦耕地到有坡度的耕地,耕地地力等级有明显的变化^[15]。江西省耕地地力等级分布情况见表 6 和图 2。总体来看,江西省优质耕地主要集中于南昌市周围,也是围绕鄱阳湖水系向外辐射分布。其中,一等

表 5 耕地地力等级结果统计

评价结果	面积 (hm^2)	占比 (%)
一等地	269 067.35	8.72
二等地	426 178.97	13.81
三等地	545 117.24	17.67
四等地	650 647.62	21.09
五等地	594 648.14	19.28
六等地	426 321.54	13.82
七等地	173 002.94	5.61
小计	3 084 983.79	100.00

地分布最多的是上饶市,面积达 69 823.61 hm^2 ,分布最少的是赣州市,面积仅有 1 429.72 hm^2 ;二等地主要分布区域是南昌市和宜春市;三等地分布最多的前 2 个市依次为吉安市和宜春市,占三等地总面积的 41.41%;四等地面积分布最大的 2 个市为宜春市和上饶市;五等地面积分布最大的 3 个市依次为上饶市、吉安市和赣州市;六等地中赣州市拥有的面积最大,有 92 305.77 hm^2 ;七等地的分布集中区域是九江市,占七等地总面积的 35.34%。

表 6 江西省耕地地力等级面积统计

地市名称	各地力等级耕地面积 (hm^2)							面积总计
	一等地	二等地	三等地	四等地	五等地	六等地	七等地	
抚州市	49 491.22	20 443.99	70 937.01	87 348.06	51 780.65	51 927.84	10 132.31	342 061.09
赣州市	1 429.72	34 246.98	75 497.06	97 455.36	105 201.88	92 305.77	31 445.63	437 582.40
吉安市	28 061.78	51 912.59	121 497.62	76 586.83	116 744.41	33 470.30	14 476.01	442 749.55
景德镇市	46 475.19	16 975.26	15 570.27	9 696.95	3 209.58	467.09	373.75	92 768.09
九江市	1 621.76	16 892.50	25 331.51	47 358.47	88 034.66	73 910.57	61 137.04	314 286.51
南昌市	17 631.55	130 026.21	36 196.15	35 585.63	25 089.23	23 035.55	13 276.52	280 840.86
萍乡市	3 963.41	18 930.55	24 140.39	11 301.66	2 616.20	3 672.08	1 778.55	66 402.84
上饶市	69 823.61	12 692.30	63 543.27	121 848.87	130 172.94	40 862.31	19 124.16	458 067.44
新余市	28 117.87	11 428.58	3 606.70	17 382.60	9 182.78	10 724.69	3 448.34	83 891.56
宜春市	7 353.08	92 068.39	104 208.79	129 530.29	57 685.95	66 785.91	17 252.77	474 885.16
鹰潭市	15 098.16	20 561.61	4 588.46	16 552.92	4 929.86	29 159.42	557.87	91 448.29
总计	269 067.35	426 178.97	545 117.24	650 647.62	594 648.14	426 321.54	173 002.94	3 084 983.79

3.3 主要养分含量状况

根据各养分含量对作物的影响程度以及江西省养分含量的实际值,将有机质含量、有效磷含量、速效钾含量和 pH 值等 4 种养分含量进行分级(表 7)。

对江西省耕地主要养分值进行统计分析,结果见表 8,结合表 7 养分分级情况进行分析,江西省耕地有机质含量均值为 31.3 g/kg ,处于中等水平,最小值都处于中下的水平,并且变异系数为 17.0%,说明江西省耕地有机质含量整体上还是有一定差异性,整体水平有待提高;耕地有效磷含量的平均值处于中上的水平,为 21.8 mg/kg ,但变异系数达 34.7%,变异性处于中等偏上的水平,反映了有效磷在全省耕地中分布不均,各地有效磷含量需要有针对性的提升;速效钾平均水平为 89.3 mg/kg ,处于中等水平,但最大值仅为 185.0 mg/kg ,处于

二级水平,且变异系数是 25.8%,变异性处于中等,整体来说,耕地速效钾含量也有待提高;江西省耕地 pH 值平均值为 5.2,并且变异系数只有 6.4%,最大值也只有 7.4,可见江西省耕地整体上偏酸性。

4 结论

针对耕地的自然属性及相应的管理特征,进行耕地地力综合评价,对今后耕地的管理以及测土配方施肥的顺利实施都有重要的指导意义^[16-19]。本研究对江西省耕地的立地条件、土壤管理、耕层状况和剖面形状等条件进行了综合考虑,以此构建耕地地力评价指标体系,并且通过 GIS 软件和省级耕地资源管理信息系统对耕地的属性信息和空间信息进行了统一存储,实现了耕地地力等级划分的自动化、批量化和可视化,

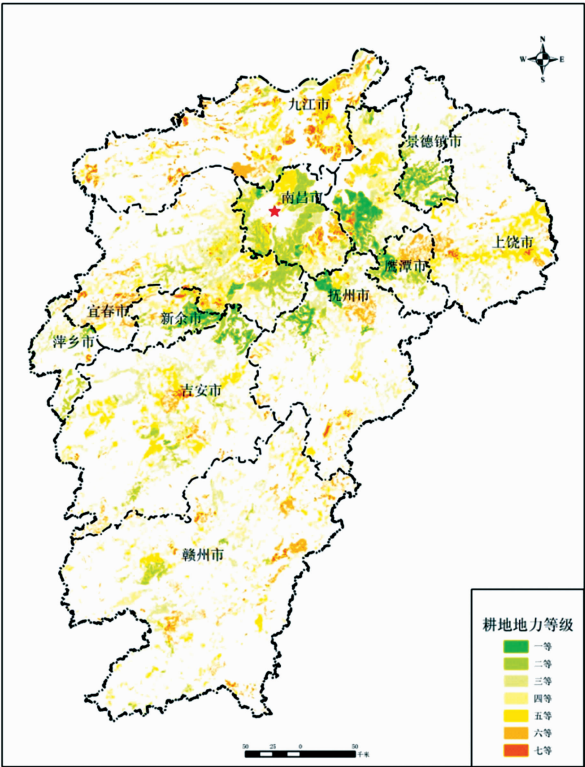


图2 江西省耕地地力等级分布

表7 土壤养分分级

等级	有机质 (g/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	pH 值 (mg/kg)
一级	>45	>35	>200	>6.0
二级	>35~45	>20~35	>120~200	>5.5~6.0
三级	>25~35	>10~20	>80~120	>5.0~5.5
四级	>15~25	>5~10	>40~80	>4.5~5.0
五级	>10~15	≤5	≤40	≤4.5

表8 江苏省耕地养分含量统计结果

养分	最大值	最小值	平均值	变异系数 (%)
有机质含量(g/kg)	49.7	15.4	31.3	17.0
有效磷含量(mg/kg)	70.5	4.5	21.8	34.7
速效钾含量(mg/kg)	185.0	34.0	89.3	25.8
pH 值	7.4	4.3	5.2	6.4

对今后耕地地力评价技术手段的改进和工作的开展有一定的指导意义。

通过对江西省耕地分等定级结果分析,江西省耕地地力各级别包含的耕地范围近似呈正态分布,前三等优质耕地所占的比例不高,总体看江西省耕地地力处于中等水平,且各级别耕地在各设区市分布不均,耕地地力有待提升。从耕地养分分析可知,江西土壤偏酸,需要通过科学施肥等相应措施对土壤酸度进行调节^[20],并且各养分含量总体处于中等水平,且具有一定的变异性,可进一步结合测土配方施肥提出相应的对策。此次江西省耕地地力的研究,对江西省耕地进行了分等定级,反映了耕地地力的实际情况,其中充分考虑了耕地的自然性状和对耕地的管理情况,为今后耕地地力的提升和

耕地资源的保护提供了可靠的支持。对于评价结果,一方面可以结合测土配方施肥项目,对耕地土壤的养分状况有针对性地进行改善;另一方面,可以为指导种植业的布局等现代农业生产活动提供科学的依据。

参考文献:

[1] 向永生,贺立源,邓正绪. 基于 GIS 的恩施州耕地地力评价[J]. 湖北农业科学,2015,54(6):1324-1327.

[2] Reshmidevi T V, Eldho T I, Jana R. A GIS - integrated fuzzy rule - based inference system for land suitability evaluation in agri - cultural water - sheds[J]. Agricultural Systems, 2009, 101(1):101-109.

[3] 刘东海,李双来,陈云峰,等. 武汉市汉南区耕地地力评价[J]. 湖北农业科学,2013,52(23):5722-5725.

[4] 侯浩,常庆瑞. 基于 GIS 的铜川市印台区耕地地力评价研究[J]. 西北林学院学报,2014,29(5):169-175.

[5] 许泉立,杨昆,易俊华. 基于 GIS 的云南省勐海县耕地地力评价与分析[J]. 湖北农业科学,2014,53(12):2788-2793.

[6] 崔增团,郭世乾. 基于 GIS 的河西走廊灌溉农业区耕地地力评价研究——以甘肃省肃州区耕地地力评价为例[J]. 中国农业资源与区划,2012,33(1):56-61.

[7] 盛艳,姚云峰,秦富仓,等. 基于 GIS 的耕地地力等级划分研究[J]. 干旱区资源与环境,2014,28(6):27-32.

[8] 张艳粉,任圆圆,陈伟强. 基于 GIS 的洛阳市耕地地力评价研究[J]. 河南农业大学学报,2013,47(4):470-474.

[9] 张兴嘉. 基于 GIS 的耕地地力评价单元划分研究[D]. 兰州:甘肃农业大学,2012.

[10] 彭建,蒋一军,刘松,等. 我国农用地分等定级研究进展与展望[J]. 中国生态农业学报,2005,13(4):167-170.

[11] 汪璐. 江西省耕地质量评价及时空变化研究[D]. 南昌:江西农业大学,2014.

[12] 杨琳,朱阿兴,秦承志,等. 运用模糊隶属度进行土壤属性制图的研究——以黑龙江鹤山农场研究区为例[J]. 土壤学报,2009,46(1):9-15.

[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] 胡德波,陈敏,杨志新,等. 绥江县耕地质量评价与比较[J]. 云南农业大学学报:自然科学版,2015,30(1):107-111.

[15] 宋戈,李丹,梁海鸥,等. 松嫩高原黑土区耕地质量特征及其空间分异——以黑龙江省巴彦县为例[J]. 经济地理,2012,32(7):129-134.

[16] 张铁婵. 耕地土壤养分空间变异与地力评价研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2010.

[17] 翟晓艺,张亚丽,周扬,等. 县域-市域耕地地力评价结果的对比衔接——以河南省漯河市为例[J]. 江苏农业科学,2015,43(6):367-370.

[18] 匡丽花,叶英聪,赵小敏. 南方水稻主产区土地整治区域耕地质量等级变化[J]. 江苏农业科学,2015,43(5):362-365.

[19] 肖轶,尹珂. 综合国土整治前后的耕地质量评价——以重庆市大路镇为例[J]. 江苏农业科学,2015,43(1):333-337.

[20] 刘廷武,李聪,赵伟男,等. 洪泽湖南岸近 30 年来土壤酸化趋势分析[J]. 农业科学与技术:英文版,2015,16(9):1955-1958.