

宜章县耕地质量等级与土壤养分特征分析

王才仁

宜章县农业综合服务中心, 湖南 郴州

收稿日期: 2023年6月4日; 录用日期: 2023年7月5日; 发布日期: 2023年7月12日

摘要

弄清宜章县耕地土壤肥力现状及其质量特征, 为挖掘耕地生产潜力和保障粮食安全提供依据。本研究基于第三次全国国土调查, 采用耕地土壤调查、土壤采集、分析测定、数学模型等方法, 研究了宜章县耕地土壤有机质、pH、有效磷与速效钾等肥力特征, 并按照《耕地质量等级》(GB/T 33469-2016)的技术路线进行了耕地质量评价。结果表明宜章县耕地土壤肥力处于中等水平, 土壤有机质均值为36.7 g/kg, 有效磷均值为20.6 mg/kg, 速效钾均值为118 mg/kg, pH均值为6.29。耕地质量加权平均等级为4.91, 高产耕地(一至三等地)面积9198.88 hm², 占耕地面积的31.16%; 中产耕地(四级至六级级)面积为12,867.98 hm², 占耕地总面积的43.58%, 低产耕地(七级至十级)面积为7461.26 hm², 占耕地总面积的25.26%。基于宜章县耕地质量等级与土壤肥力特征, 应采取科学施肥、改善排水灌溉状况、治理耕地土壤酸化、保育高产耕地与提升及改良中低产耕地的手段, 以提升耕地质量并提高粮食生产能力。

关键词

耕地质量, 肥力现状, 评价, 高产耕地, 中低产耕地, 土壤改良

Characteristics of Cultivated Land Quality Grade and Soil Nutrients in Yizhang County

Cairen Wang

Yizhang County Agricultural Comprehensive Service Center, Chengzhou Hunan

Received: Jun. 4th, 2023; accepted: Jul. 5th, 2023; published: Jul. 12th, 2023

Abstract

To clarify the present situation and quality characteristics of cultivated land soil fertility in Yizhang County, so as to provide the basis for exploring the potential of cultivated land production and ensuring food security. Based on the third national land resource survey, this study studied the fertility characteristics of cultivated soil organic matter, pH, available phosphorus and available potassium in Yizhang County by using the methods of soil survey, soil collection, analysis and measurement, and mathematical model. The cultivated land quality was evaluated according to the technic-

al route of “Cultivated land quality grade” (GB/T 33469-2016). The results showed that the soil fertility of cultivated land in Yizhou County was in the medium level, with the mean of organic matter being 36.7 g/kg, available phosphorus 20.6 mg/kg, available potassium 118 mg/kg and pH 6.29. The weighted average grade of cultivated land quality was 4.91. The area of high-yield cultivated land (Grade 1 to 3) was 9198.88 hm², accounting for 31.16% of the cultivated land area. The area of middle class cultivated land (Grade 4 to 6) is 12867.98 hm², accounting for 43.58% of the total area of cultivated land, and the area of low yield cultivated land (Grade 7 to 10) is 7461.26 hm², accounting for 25.26% of the total area of cultivated land. Based on the quality grade of cultivated land and the characteristics of soil fertility in Yizhang County, scientific fertilization, improvement of drainage and irrigation, control of soil acidification of cultivated land, conservation of high-yield cultivated land, promotion and improvement of middle-low yield cultivated land should be adopted to improve the quality of cultivated land and grain production capacity.

Keywords

Cultivated Land Quality, Fertility Status, Evaluation, High-Yield Cultivated Land, Middle-Low Yield Cultivated Land, Soil Improvement

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

耕地是重要的自然资源，是农业生产的基础[1]。耕地数量和质量是农业生产的保障，亦是社会发展与稳定和食品安全的保障[2]。然而近 20 年来，我国耕地数量不断下降、土壤质量呈现退化的趋势，“以质量代替数量”成为了稳定、有效发展耕地粮食生产的必由之路[3]，保护和提升耕地质量成为了首要任务。因此，弄清县域耕地质量等级及肥力特性具有重要意义。近年来，众多学者从耕地数量的保有研究转移到耕地质量与数量两方面上，研究目标由单一的土壤养分、微量元素等基础性研究扩展到田间基础设施、耕地利用变化及与 GIS 技术相结合的耕地质量管理应用等复合型研究上[4] [5]，逐渐完善的评价模型与衍生出的评价方法也将“耕地质量”量化并形成“耕地质量等级”概念[6]。耕地评价方法经历了从定性评价到定量评价的历程，定量评价是从多个层次选取相关评价指标，借助数学模型计算出数值，能够客观的、针对性的、准确地得出耕地质量等级[7]。李卓倩等构建 LESA 综合评价模型评价了固始县耕地质量等级[8]。唐宗等利用 Logistic 回归模型和关联规则，从而准确高效的对从化区耕地质量进行评价[9]。2016 年，我国同时颁布了《耕地质量调查监测与评价法》和《耕地质量等级》(GB/T 33469-2016)国家标准，耕地质量内涵包括了土壤质量、空间地理质量、管理质量和经济质量 4 个方面[4]。基于此，耕地质量等级调查与评价进入了新的高潮[10] [11] [12]。耕地土壤养分是判定耕地质量优劣的重要指标，是作物生长发育所需养分的重要来源，土壤的理化性质、利用方式[13]、以及外部环境均会影响土壤养分含量与空间分布特征。揭示县域耕地土壤养分空间分布情况，可以及时准确地了解耕地养分现状，对科学合理施肥、激发潜在生产力、提高作物产量与品质和农田土壤养分管理具有重大的实际意义[11] [14] [15]。

宜章县是种粮、产粮大县，地貌地形复杂，耕地土壤养分与质量空间分布差异性明显。本研究基于第三次全国国土调查采集的 2084 个耕层土壤样品，结合样点立地条件、剖面性状、健康状况、土壤管理与土壤理化性状(耕层质地、pH、土壤容重、土壤有机质、有效磷、速效钾)等 15 个因素，运用普通克里格插值、梅罗指数法、利用特尔菲法和层次分析法等方法，开展宜章县耕地质量等级评价和土壤肥力特

征研究,摸清耕地质量的关键障碍因子,以期为宜章县耕地土壤退化治理、耕地质量保护与提升、农业提质增效和可持续发展提供科学依据。

2. 材料与方法

2.1. 研究区概况

宜章县地处湖南省南端,介于东经 112°37'35"~113°20'29",北纬 24°53'38"~25°41'53",总面积 2118 km²。海拔 155~1902 m,属中亚热带南部湿润季风气候区,年均气温 18.3℃,年均降水量 1487.3 mm,无霜期 292 d 左右,年日照时数 1414.8 h,光、热、水资源丰富,对农、林、牧、渔业多种经营全面发展十分有利。

宜章县农用地面积 188,644.22 hm²,占土地总面积的 89.07%,耕地 29,528.12 hm²,其中,水田面积 21,683.10 hm²,旱地 7845.02 hm²,主要分布在县域中南部。宜章县耕地土壤以潮土、黑色石灰土、红壤、红色石灰土、黄壤、黄棕壤、水稻土与紫色土 8 个土类为主;其中有 14 亚类、46 个土属和土种 101 个。

2.2. 数据来源

2.2.1. 样点资料

依托 2020 年宜章县实施第三次全国国土调查耕地质量等级调查评价项目,共采集 2084 个耕层土壤样品,主要包括调查样点立地条件、剖面性状、健康状况、土壤管理等基本情况;分析土壤理化性状(耕层质地、pH、土壤容重、土壤有机质、有效磷、速效钾)等指标,以此作为耕地质量等级评价和土壤肥力分析的支撑。

2.2.2. 图件资料

第三次全国国土调查的土地利用现状图和行政区划图由中华人民共和国自然资源部(<https://www.mnr.gov.cn/>)提供,土壤图源于测土配方施肥项目校正后第二次土壤普查数据(<http://www.soilinfo.cn/map/index.aspx>)。

2.3. 耕地质量等级评价分析方法

2.3.1. 评价单元确定

采用第三次全国国土调查耕地图斑作为评价的基本单元,叠加土壤类型图后,经过叠加分析与拓扑检查,得到的评价单元总计为 34,749 个。

2.3.2. 评价单元

根据技术规范《耕地质量等级》(GB/33469-2016),宜章县属于长江中下游区南岭丘陵山地农林区,耕地质量等级评价由影响耕地质量的 15 个评价因子综合作用的集成,包括 6 个数值型评价因子:耕地土壤 pH 值、有机质、速效钾、有效磷、容重、有效土层厚度;9 个概念型评价因子:耕地地形部位、土壤质地、质地构型、障碍因素、灌溉能力、排水能力、生物多样性、林网化程度、清洁程度。

以调查点位的数据作为基础字段,采用一点代面方法赋值概念型评价因子到评价单元,利用反距离插值方法赋值数值型评价因子到评价单元,建立耕地质量基础属性信息数据库。

2.3.3. 耕地质量等级确定方法

按内梅罗指数判断耕地清洁程度,利用特尔菲法和层次分析法确定各指标隶属度及权重,采用累加法计算每个耕地评价单元的综合耕地质量指数,公式为:

$$IFI = \sum W_i \times F_i$$

式中:IFI 为耕地质量评价综合指数;F_i 为第 i 个因子的隶属度;W_i 为第 i 个因子的组合权重。

具体的运算均在县域耕地资源信息系统中,通过累积频率曲线法将宜章县耕地质量分为 10 级,经过

系统运算后得出耕地质量评价等级。

2.4. 土壤肥力特征分析

参照农业农村部耕地质量监测保护中心《关于完善省级耕地质量监测指标分级标准的通知》(耕地监测便函[2019]6号)文件中长江中下游耕地质量监测指标分级标准(表1),进行数据统计、整理与分析。

Table 1. Classification standard of cultivated land quality monitoring index in the middle and lower reaches of the Yangtze River

表 1. 长江中下游区耕地质量监测指标分级标准

指标	单位	一级(高)	二级(较高)	三级(中)	四级(较低)	五级(低)
pH	/	6.5~7.5	5.5~6.5	7.5~8.5	4.5~5.5	>8.5, ≤4.5
有机质	g/kg	>35	25~35	15~25	10~15	≤10
有效磷	mg/kg	>35	25~35	15~25	10~15	≤10
速效钾	mg/kg	>150	125~150	100~125	75~100	≤75

2.5. 数据统计

采用 Excel 2016 对实验数据进行整理、计算和表格的绘制;在 ArcGIS 10.7 软件利用克里金插值法绘制土壤肥力指标空间分布图。

3. 结果与分析

3.1. 耕地质量等级评价结果

3.1.1. 耕地质量等级分布及其特征

宜章县耕地总面积为 29,528.11 hm²,根据耕地质量等级评价方法显示宜章县一至十等地均有分布(表2,图1),耕地质量加权平均等级为 4.91。其中,一至三等地是宜章县耕地质量较优的耕地,即高产耕地,面积为 9198.88 hm²,占全县耕地总面积的 31.16%,主要分布于五岭镇、梅田镇、黄沙镇、一六镇与天塘镇(表3),分布在丘陵中部、丘陵下部和山地坡下地形上,土壤类型均为水稻土,土地利用方式均为水田,质地构型以上松下紧型、海绵型、紧实型为主,灌溉、排水能力多处于充分满足和满足程度,有效土层厚度均 80 cm,土壤酸碱度呈弱酸性至弱碱性,土壤有机质、有效磷、速效钾含量均处于较高水平。

四至六等地是宜章县耕地质量为中上等水平,即中产耕地,面积为 12,867.98 hm²,占全县耕地总面积的 43.58%,主要位于天塘镇、笆篱镇、五岭镇、梅田镇与玉溪镇,分布在丘陵下部、丘陵中部、山地坡下地形区,土壤类型以水稻土、潮土和红壤为主,质地构型以上松下紧型、紧实型、夹层型为多,灌溉、排水能力大部分为满足,有效土层厚度大部分在 50 cm 以上,主要障碍因子为瘠薄、酸化、障碍层次;土壤有机质、有效磷含量多处于中等至较高水平,速效钾含量多处于较低至中等水平。

Table 2. Distribution of cultivated land quality grade in Yizhang County

表 2. 宜章县耕地质量等级分布

质量等级	耕地		水田		旱地		
	面积(hm ²)	占比%	面积(hm ²)	占比%	面积(hm ²)	占比%	
高产耕地	一等	1628.84	5.52	1628.84	7.51	0	0
	二等	3135.37	10.62	3135.37	14.46	0	0
	三等	4434.67	15.02	4434.67	20.45	0	0
	小计	9198.88	31.16	9198.88	42.42	0	0

Continued

中产耕地	四等	5153.39	17.45	5153.39	21.74	439.69	5.60
	五等	3829.19	12.97	2854.95	13.17	974.24	12.42
	六等	3885.40	13.16	2684.87	12.38	1200.53	15.30
	小计	12,867.98	43.58	10,693.21	47.29	2614.46	33.32
低产耕地	七等	2646.34	8.96	1173.71	5.41	1472.64	18.77
	八等	2221.33	7.52	750.95	3.46	1470.38	18.74
	九等	1411.08	4.78	306.03	1.41	1105.05	14.09
	十等	1182.50	4.00	0	0	1182.50	15.07
	小计	7461.25	25.26	2230.69	10.28	5230.57	66.67
合计	29,528.11	100	22,122.78	100	7845.03	100	

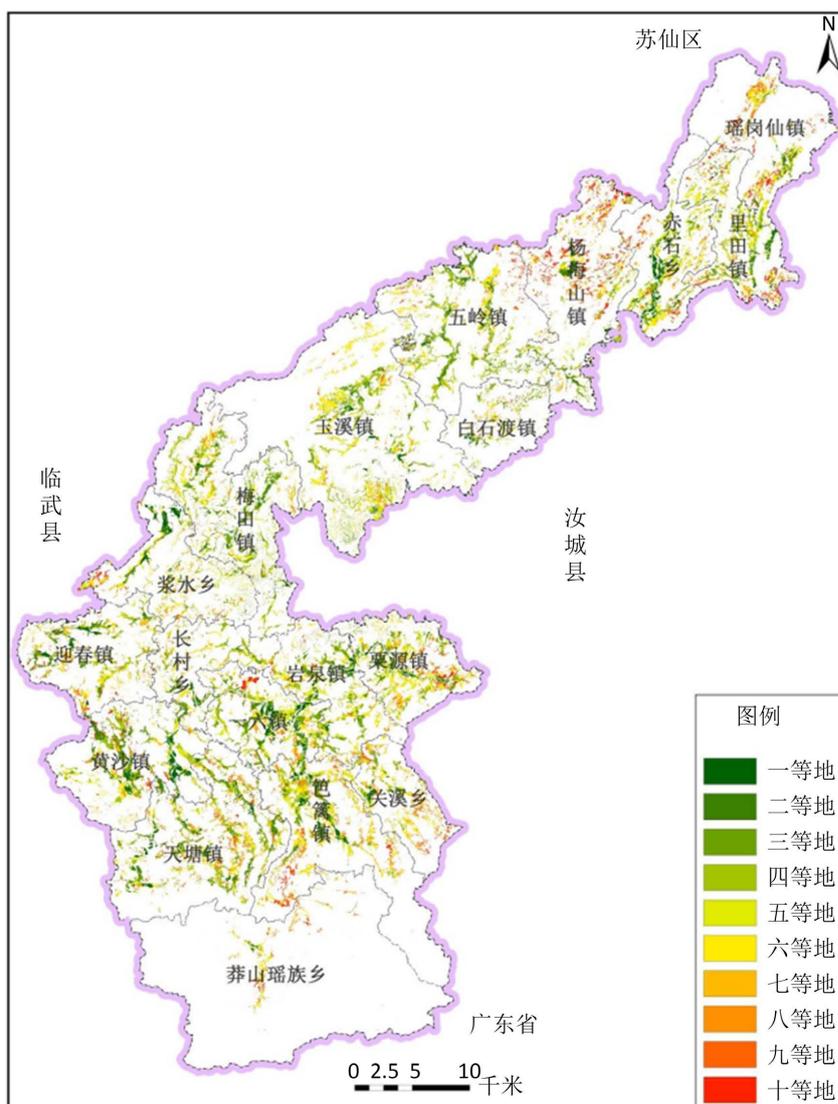


Figure 1. Spatial distribution map of cultivated land quality grade in Yizhang County
 图 1. 宜章县耕地质量等级分布图

七至十等地是宜章县耕地质量较差的低产耕地,面积为 7461.25 hm²,占耕地总面积的 25.26%,主要位于栗源镇、瑶岗仙镇、杨梅山镇、笆篱镇与天塘镇,分布在丘陵上部、丘陵下部和山地上中部地形区,土壤类型以水稻土、石灰岩土和红壤为主,土地利用方式以旱地为主(66.67%),质地构型多为紧实型、薄层型、夹层型、松散型,灌溉、排水能力发大部分为基本满足,有效土层厚度平均值在 50 cm 以下,土壤酸碱度多呈酸性、强酸性,主要障碍因子为渍潜、瘠薄、酸化、障碍层次;土壤有机质、有效磷和速效钾含量处于较低水平。

3.1.2. 宜章县各乡镇耕地质量等级分布特征

由于人为耕作、土壤管理与土壤养分等因素对耕地质量影响比较大,导致宜章县各乡镇耕地质量等级分布都有其自身特点,具体分布状况见表 3、图 1。高产耕地占比在 6.00% 以上的有岩泉镇、笆篱镇、五岭镇、梅田镇、黄沙镇、一六镇与天塘镇;中产耕地占比在 6.00% 以上的有栗源镇、天塘镇、笆篱镇、五岭镇、梅田镇与玉溪镇;低产耕地占比在 6.00% 以上的有瑶岗仙镇、杨梅山镇、笆篱镇与天塘镇。

Table 3. Statistical table of the distribution of low-yield cultivated land in Yizhang County
表 3. 宜章县高中低产耕地分布情况统计表

乡镇名称	高产耕地		中产耕地		低产耕地	
	面积 hm ²	占比%	面积 hm ²	占比%	面积 hm ²	占比%
笆篱镇	600.28	6.53	925.46	7.19	800.58	10.73
白石渡镇	132.57	1.44	205.90	1.60	104.89	1.41
赤石乡	529.16	5.75	687.32	5.34	305.36	4.09
关溪乡	138.49	1.51	364.46	2.83	397.64	5.33
黄沙镇	846.80	9.21	726.30	5.64	343.57	4.60
浆水乡	335.87	3.65	532.79	4.14	294.64	3.95
里田镇	401.13	4.36	644.99	5.01	401.27	5.38
栗源镇	463.45	5.04	831.25	6.46	403.67	5.41
莽山瑶族乡	24.49	0.27	150.19	1.17	204.81	2.74
梅田镇	803.91	8.74	1064.57	8.28	325.02	4.36
天塘镇	1020.24	11.09	892.83	6.94	827.01	11.08
五岭镇	709.13	7.71	975.15	7.58	351.23	4.71
岩泉镇	583.83	6.35	657.83	5.11	265.05	3.55
杨梅山镇	313.31	3.41	553.82	4.30	754.66	10.11
瑶岗仙镇	153.04	1.66	374.39	2.91	459.85	6.16
一六镇	871.06	9.47	734.60	5.71	319.24	4.28
迎春镇	458.89	4.99	572.96	4.45	370.30	4.96
玉溪镇	517.08	5.62	1599.99	12.44	366.40	4.91
长村乡	296.18	3.22	373.17	2.90	166.06	2.23
总计	9198.91	100	12,867.97	100	7461.25	100

3.2. 耕地土壤养分含量特征

3.2.1. 土壤有机质

有机质是土壤肥力核心与土壤养分的重要组成部分，其数量和质量是表征土壤肥力和质量的重要指标[16]，具有改善土壤理化性状，调控和制约土壤结构、通气性、渗透性、缓冲性、交换性能和保水保肥性能，是影响耕地质量等级关键指标[17]。宜章县耕地土壤有机质含量均值为 36.7 g/kg (表 4)，属高含量水平。有机质肥力水平以一级(高)和二级(较高)为主，占分析测定样本数(2084 个)的 79.89% (图 2)。

Table 4. Soil nutrient content classification and area distribution in cultivated soil
表 4. 耕地土壤养分含量分级及面积分布情况

项目	平均值	变化范围	等级分布面积(hm ²)				
			一级(高)	二级(较高)	三级(中)	四级(较低)	五级(低)
有机质(g/kg)	36.7	6.9~77.9	14,842.34	9086.37	5312.92	190.50	95.98
pH	6.29	4.15~8.31	11,396.55	12,361.90	2258.56	3430.42	80.69
有效磷(mg/kg)	20.6	2.5~42.9	4314.47	3485.55	9044.77	6681.47	6001.86
速效钾(mg/kg)	118	27~233	8410.55	4094.70	5694.00	6387.95	4940.91

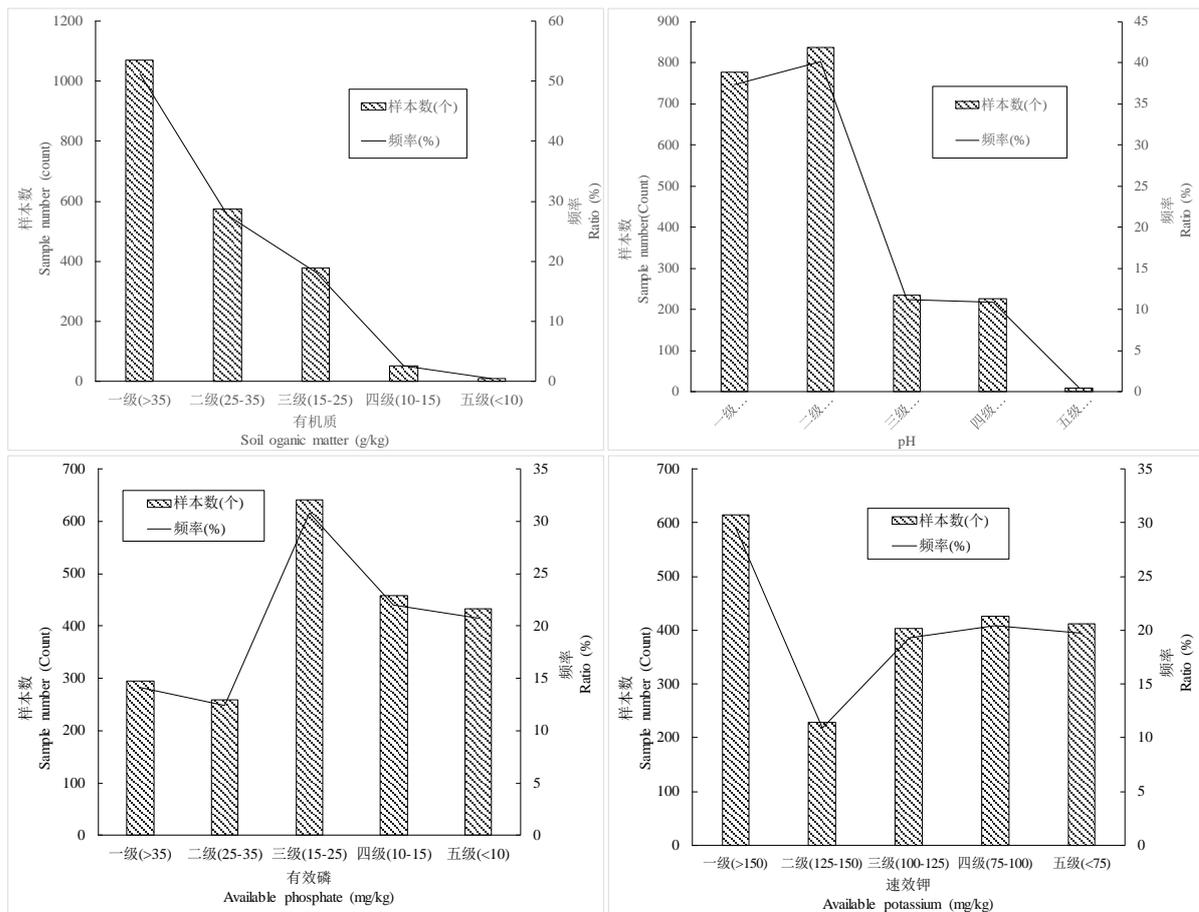


Figure 2. Characteristics of cultivated soil nutrient grade distribution
图 2. 耕地土壤养分等级分布特征

3.2.2. 土壤 pH

土壤酸碱度是影响耕地质量等级的重要指标,对土壤肥力和作物生长具有重要作用,是土壤化学与肥力的重要指标[18]。过酸或者过碱,都会影响作物的正常生长,降低土壤养分的有效性。测定结果显示,宜章县耕地土壤 pH 均值为 6.29,属于二级水平(较高)(表 4);测定点位 pH 等级主要分布在一级和二级,一级的点位占比 37.28%,二级点位占比 40.12%(图 2)。

3.2.3. 土壤有效磷含量

土壤磷素是农作物生长三大必需营养元素之一,土壤有效磷含量高低是影响作物产量、评价土壤质量与环境污染的重要指标[19]。宜章县耕地土壤有效磷含量均值为 20.6 mg/kg,属中等水平(三级)(表 4);测定点位有效磷含量等级主要分布在三级和四级,三级的点位占比 30.76%,四级点位占比 21.98%(图 2)。

3.2.4. 土壤速效钾含量

土壤速效钾可以为植物直接吸收利用,在作物产量、品质和抗逆方面的作用至关重要[20],速效钾含量水平高低反映了土壤的供钾能力,是影响土壤质量的重要指标。宜章县耕地土壤速效钾含量均值为 118 mg/kg,属于中等水平(三级)(表 4);测定点位有效磷含量等级主要分布在一级和四级,一级级的点位占比 29.51%,四级点位占比 20.44%(图 2)。

3.3. 耕地土壤养分空间分布特征

根据农业农村部耕地质量监测保护中心《关于完善省级耕地质量监测指标分级标准的通知》(耕地监测便函[2019]6 号)文件中长江中下游耕地质量监测指标分级标准,结合本次调查与评价结果,宜章县耕地土壤有机质、有效磷、速效钾、pH 含量分级、均值及面积见表 4。

由于耕作措施、土壤管理、施肥技术、地形地貌等方面的影响,宜章县耕地土壤养分的空间变异性较大,各等级养分含量水平的分布面积差异明显。有机质以一级和二级分布面积较大,分别为 14,842.34 hm^2 和 9086.37 hm^2 ,五级水平分布面积最小,仅 95.98 hm^2 ;pH 也以一级和二级分布面积较大 11,396.55 hm^2 和 12,361.90 hm^2 ,酸性(四级)耕地土壤分布面积为 3430.42 hm^2 ,强酸性与弱碱性(五级)分布面积较小,为 80.69 hm^2 ;有效磷含量较低,分布面积以三级、四级和五级分布面积较大,分别为 9044.77 hm^2 、6681.47 hm^2 和 6001.86 hm^2 ,三者共占耕地面积 73.51%;速效钾虽以一级分布面积较大,达到 8410.55 hm^2 ,但四级与五级的分布面积也分别为 6387.95 hm^2 和 4940.91 hm^2 ,两者共占耕地面积的 40.21%,含量较低的面积也较大。

4. 结论

1) 宜章县中低产耕地面积较大,耕地质量等级提升有较大潜力。高产耕地(一至三等地)占耕地总面积的 31.16%,中产耕地(四至六等地)占耕地总面积的 43.58%,低产耕地(七至十等地)占耕地总面积的 25.26%,耕地质量加权平均等级为 4.91,中低产耕地面积较大,占 88.84%。

2) 宜章县耕地土壤有机质含量高,有效磷含量较低,速效钾空间变异性大,需依据土壤养分的差异性进行培肥与改良。土壤有机质均值为 36.7 g/kg,一级和二级含量水平分布面积分别为 14,842.34 hm^2 和 9086.37 hm^2 ;pH 相对较适宜,均值为 6.29,而酸性(四级)耕地土壤分布面积为 3430.42 hm^2 ,占耕地总面积的 11.62%,显示仍有一定的酸化面积;土壤有效磷含量较低,均值为 20.6 mg/kg,主要由于低含量水平的四级和五级含量水平分布面积分别为 6681.47 hm^2 和 6001.86 hm^2 ,占耕地总面积的 42.75%;土壤速效钾含量均值为 118 mg/kg,含量等级水平分布呈现两极分化,一级含量水平分布面积达到 8410.55 hm^2 ,占耕地总面积的 24.48%,但四级与五级含量水平的分布面积也分别为 6387.95 hm^2 和 4940.91 hm^2 ,共占耕地面积的 40.21%。

3) 宜章县耕地中存在养分瘠薄、土壤酸化、障碍层次、渍潜等障碍因素。建议对宜章县耕地质量的提升采取科学施肥、改善排水灌溉状况、治理耕地土壤酸化、高产耕地保育与提升及改良中低产耕地的措施。

基金项目

湖南省农业农村厅重点项目：湖南省耕地质量评价项目(NY-2021035)。

参考文献

- [1] 陈百明, 周小萍. 中国近期耕地资源与粮食综合生产能力的变化态势[J]. 资源科学, 2004, 26(5): 38-45.
- [2] 姜广辉, 赵婷婷, 段增强, 等. 北京山区耕地质量变化及未来趋势模拟[J]. 农业工程学报, 2010, 26(10): 304-311.
- [3] 张晋科, 张风荣, 张琳, 等. 中国耕地的粮食生产能力与粮食产量对比研究[J]. 中国农业科学, 2006, 39(11): 2278-2285.
- [4] 付国珍, 摆万奇. 耕地质量评价研究进展及发展趋势[J]. 资源科学, 2015, 37(2): 226-236.
- [5] Ye, S.J., Zhu, D.H., Yao, X.C., *et al.* (2014) Development of a Highly Flexible Mobile GIS-Based System for Collecting Arable Land Quality Data. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 7, 4432-4441. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2014.2320635>
- [6] 聂艳, 周勇, 于婧, 等. 基于 GIS 和模糊物元贴近度聚类分析模型的耕地质量评价[J]. 土壤学报, 2005, 42(4): 551-558.
- [7] 张敏. 耕地质量评价方法研究概述[J]. 农村经济与科技, 2020, 31(21): 10-12.
- [8] 李卓倩, 赵贤好, 张莉坤, 等. 基于 LESA 综合评价模型的耕地质量定级方法[J]. 水土保持研究, 2020, 27(4): 363-367, 375.
- [9] 唐宗, 周悟, 杨颢, 等. 基于交互效应 Logistic 回归模型的耕地质量评价方法研究[J]. 生态环境学报, 2020, 29(12): 2394-2403.
- [10] 汪甜甜, 费坤, 江文娟, 等. 宣州区耕地质量等级评价及灌排能力对耕地质量影响[J]. 灌溉排水学报, 2021, 40(11): 79-89.
- [11] 潘雪, 蔡立群, 董博, 卮光昀. 平川区耕地质量等级及养分特征分析研究[J]. 中国农学通报, 2022, 38(29): 118-128.
- [12] 江文娟, 汤萌萌, 汪甜甜, 等. 宣城市耕地质量等级及土壤养分空间分布特征[J]. 土壤通报, 2022, 53(1): 36-44.
- [13] 杨满元, 杨宁. 衡阳紫色土丘陵坡地 5 种土地利用方式土壤肥力综合评价[J]. 湖南生态科学学报, 2021, 8(2): 10-16.
- [14] 杨佳, 于志军, 王参, 等. 雄安新区不同土地利用方式土壤性状的空间分布特征——以容城县为例[J]. 生态学报, 2021, 41(17): 6764-6772.
- [15] Liu, R.M., Xu, F., Yu, W.W., *et al.* (2016) Analysis of Field-Scalespatial Correlations and Variations of Soil Nutrients Using Geostatistics. *Environmental Monitoring & Assessment*, 188, Article No. 126. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5130-9>
- [16] 张欣, 李梦佳, 刘洪斌, 等. 丘陵区耕地土壤剖面有机质含量分布特征及其影响因素分析[J]. 长江流域资源与环境, 2020, 29(12): 2696-2708.
- [17] 杨帆, 徐洋, 崔勇, 等. 近 30 年中国农田耕层土壤有机质含量变化[J]. 土壤学报, 2017, 54(5): 1047-1056.
- [18] 向娇, 宋超, 石迎春, 等. 安徽省六安地区土壤 pH 空间变异特征及其影响因素[J]. 土壤通报, 2021, 52(1): 34-41.
- [19] 展晓莹, 任意, 张淑香, 等. 中国主要土壤有效磷演变及其与磷平衡的响应关系[J]. 中国农业科学, 2015, 48(23): 4728-4737.
- [20] 柳开楼, 韩天富, 黄晶, 等. 中国稻作区土壤速效钾和钾肥偏生产力时空变化[J]. 土壤学报, 2021, 58(1): 202-212.