

# 洞庭湖南岸南县水稻田土壤肥力因子空间变异特征

肖淑媛<sup>1</sup>, 徐晓昂<sup>1</sup>, 陈宗顺<sup>1</sup>, 余明光<sup>1</sup>, 涂赛军<sup>2</sup>, 冯 晖<sup>1\*</sup>

(1. 益阳职业技术学院, 湖南 益阳 413000; 2. 南县农业农村局, 湖南 益阳 413200)

**摘 要:**采用 GIS 技术和地统计相结合方法, 研究位于洞庭湖南岸的益阳市南县水稻田土壤肥力因子空间变异性及其影响因素。结果表明: 研究区水稻田土壤大部分为碱性。土壤有机质和有效氮含量大部分地区为极高, 有效磷和速效钾含量大部分地区为低值。土壤有效氮含量大于 198 mg/kg 的高值区主要分布于南县中北部, 土壤有机质含量  $\geq 34$  g/kg 的高值区主要分布在南县中部和南部。土壤 pH>7.9 的碱性水稻田主要分布在南县中部和西部。大部分水稻田土壤速效钾含量  $\leq 88$  mg/kg, 主要分布在南县西部和中南部。大部分水稻田土壤有效磷含量  $\leq 20$  mg/kg, 主要分布于南县东部和西部。影响南县水稻田土壤肥力因子的主要因素有地形、土种和土壤环境所存在的各种障碍因子。

**关键词:**水稻田; 土壤养分; 空间变异性

中图分类号: S158

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2021)05-0035-05

## Spatial Variability of Soil Nutrients in Paddy Fields of Nanxian County in Dongting Lake South Bank

XIAO Shuyuan<sup>1</sup>, CHEN Xiaoang<sup>1</sup>, CHEN Zongshun<sup>1</sup>, YU Mingguang<sup>1</sup>, TU Saijun<sup>2</sup>, FENG Hui<sup>1\*</sup>

(1. *Yiyang Vocational and Technical College, Yiyang 413000; 2. Nanxian County Department of Agricultural and Rural Affairs, Yiyang 413200, China*)

**Abstract:** The spatial variability of soil available nutrients and its influencing factors in paddy fields in Nanxian County, Yiyang City were studied based on the GIS technology. The results showed that most of the rice fields in the study area were alkaline. The contents of organic matter and available nitrogen were extremely high in most areas, while the contents of available phosphorus and available potassium were low in most areas. The high values of soil available nitrogen content greater than 198 mg/kg were mainly distributed in the central and northern part of Nanxian County, and the high values of soil organic matter content over 34 g/kg were mainly distributed in the central and southern part of Nanxian County. Alkaline paddy fields with soil pH>7.9 are mainly distributed in the central and western parts of Nanxian County. The soil available potassium content in most paddy fields is less than 88 mg/kg, and is mainly distributed in the west and south central of Nanxian County. The soil available phosphorus content of most paddy fields is less than 20 mg/kg, and is mainly distributed in the eastern and western parts of Nanxian County. The main factors affecting soil fertility in Nanxian County paddy field were terrain, soil species and various obstacles in soil environment.

**Key words:** Paddy fields; Soil nutrients; Spatial variability

精准农业是在了解田间土壤肥力的差异和生长于其上的作物长势长相的变异的基础上, 实施定位、定量的精准施肥和相应的栽培措施, 以达到平衡地力, 提高农作物的品质和产量的目的。欧美等发达国家实行大农场管理, 农田土壤肥力相对一致, 我国北方农田人少地多, 且以旱地为

主。湖南省耕地以水稻田居多, 田块间土壤养分变化较大, 因此更需要采用养分精准技术。而前提是必须在充分了解并认识区域内田间土壤养分、空间变异特征及空间分布规律的基础上, 才能实施有效可行的平衡施肥措施<sup>[1-6]</sup>。

洞庭湖稻区是湖南省主要的粮食产区 and 全国重要的商品粮基地之一。该区土壤肥沃, 气候资源丰富, 素以“鱼米之乡”而名闻遐迩<sup>[7-9]</sup>。本文以洞庭湖南岸的益阳市南县水稻田为研究对象, 研究区域内耕作土层的 pH、有机质、有效氮、有效

收稿日期: 2019-10-23

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFD0301506)

作者简介: 肖淑媛(1963-), 女, 副教授, 主要从事土壤生态研究。

通讯作者: 冯 晖, 男, 硕士, 副教授, E-mail: fhcd88@sohu.com

磷、速效钾含量的空间变异性,为研究区水稻生产的合理规划布局,以及防治农业非点源污染、实现农业生产可持续发展提供依据。

## 1 研究区概况和研究方法

### 1.1 研究区概况

南县位于 $112^{\circ}10'53''\sim 112^{\circ}49'06''E, 29^{\circ}03'03''\sim 29^{\circ}31'37''N$ ,地处长江中下游,系洞庭湖新淤之地。地势自西向东南微倾,平均海拔28.8 m,高差不足10 m,属于典型的平原地形。属亚热带大陆性季风湿润气候,具有气温总体偏高、冬暖夏凉明显、降水年偏丰、7月多雨成灾、日照普遍偏少、春寒阴雨突出等特征。年平均气温 $16.1\sim 16.9^{\circ}C$ ,日照 $1\ 348\sim 1\ 772\ h$ ,无霜期 $263\sim 276\ d$ ,降雨量 $1\ 230\sim 1\ 700\ mm$ ,适于水稻高产种植。

### 1.2 样品采集

2017年5月在研究区进行采样,综合考虑土壤类型、取样的均匀性和田块的大小,共统计采

集样点为5310分点,用GPS定位仪定位。在水稻种植前,用Z字形取样法,采集 $2\sim 20\ cm$ 的耕作层土壤样品<sup>[10-11]</sup>。

### 1.3 测定项目

用电极电信法测定土壤pH,扩散法测定土壤有效氮含量, $NH_4OAC$ 浸提-火焰光度法测定土壤速效钾含量,碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定土壤有效磷含量,重铬酸钾容量法-外加热法测定土壤有机质含量。

### 1.4 数据处理

数据描述性统计采用SPSS 16.0软件进行。Kriging插值和图形绘制采用ArcGIS 9.3软件<sup>[11-13]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 研究区水稻田土壤肥力因子的描述性统计

土壤肥力因子的描述性统计能够在某种程度上反映土壤肥力因子的基本特征,见表1。

研究区水稻田土壤有机质含量 $\geq 30\ g/kg$ 的面

表1 研究区水稻田土壤肥力因子描述性统计特性值

土壤养分	样本数	平均值	中值	最小值	最大值	标准差	变异系数(%)	偏数	峰数	分布类型
有机质(g/kg)	5 126.00	32.21	32.30	10.00	66.80	9.63	29.89	0.03	-0.58	正态分布
有效氮(mg/kg)	5 126.00	182.34	180.00	20.00	500.00	52.53	28.81	0.62	2.61	正态分布
有效磷(mg/kg)	5 126.00	20.22	15.90	2.50	158.50	14.77	73.05	2.89	1.89	正态分布
速效钾(mg/kg)	5 126.00	84.34	70.00	10.00	500.00	46.50	55.14	2.39	0.32	正态分布
pH	5 126.00	7.91	7.90	4.10	8.50	0.18	2.24	-4.39	1.04	正态分布

积占研究区总面积的61.14%。按照全国土壤养分等级标准,土壤有机质含量 $>25\ g/kg$ 为极高,因此研究区水稻田土壤有机质含量大部分为极高。研究区水稻田土壤有效氮含量 $\geq$ 平均值为 $158\ mg/kg$ 的面积占总面积的72.02%,按照全国土壤养分等级标准,土壤有效氮 $\geq 120\ mg/kg$ 为极高,因此研究区水稻田土壤有效氮含量大部分为极高。研究区水稻田有效磷含量大部分 $\leq 28\ mg/kg$ ,其中 $\leq 20\ mg/kg$ 的水稻田占研究区总面积的71.73%。按照全国土壤养分等级标准,土壤有效磷含量在 $15\sim 30\ mg/kg$ 范围的都为低值,因此研究区水稻田土壤有效磷含量大部分为低值。研究区大部分水稻田土壤速效钾含量在 $70\sim 100\ mg/kg$ 范围, $\leq 88\ mg/kg$ 的水稻田占总面积的64.07%,按照全国土壤养分等级标准,土壤速效钾含量在 $70\sim 100\ mg/kg$ 范围的都为低值,因此研究区水稻田速效钾含量大部分都为低值。研究区水稻田土壤pH平均值为7.91, $\geq 7.0$ 的水稻田土壤占研究区总面积的87.06%,因此南县水稻田土壤大部分为碱性土壤。

5种土壤养分因子的变异系数以有效磷含量为最高,达73.05%。这与农户施磷量差异太大有关。其次是速效钾含量为55.14%。土壤有机质、有效氮的变异系数相对低一点,分别是29.89%和28.81%,土壤pH的变异系数最低,只有2.24%。

### 2.2 研究区水稻田土壤肥力因子空间分布特征

研究区土壤有效氮含量丰富。土壤有效氮含量 $\geq 178\ mg/kg$ 的高值区主要分布在南县的中北部,占研究区总面积的43.72%。该区域水稻田水分条件较好,由于长期处于水耕状态下,土壤微生物量较高,再加上这一带水稻种植户有稻草还田的习惯,因此这些植物残体经过土壤微生物的分解转化,成为可被植物有效吸收利用的有效氮。土壤有效氮含量少于 $178\ mg/kg$ 的低值区主要分布在南县的东部和西部,占研究区总面积的56.28%。

土壤pH $>7.9$ 的碱性水稻田主要分布在南县的中部和西南部、西北部地区,占研究区总面积的51.33%,土壤pH $<7.9$ 的水稻田主要分布在研究区的东部和中西部,占研究区总面积的48.67%。

土壤 pH 呈由西向东逐渐降低的趋势。这是因为研究区的东部和中西部的土壤大都是红壤, 该区域土壤成土母质为第四纪红土, 土壤富含  $Fe^{3+}$ , 主要呈酸性。而研究区的西部和中部区域土壤的主要类型是潮土, 潮土是发育于富含碳酸盐的洞庭湖区水系冲积物土, 经耕作熟化而形成的一种半水成土壤, 由于土壤中碳酸盐的富集, 所以大部分土壤呈碱性。

土壤速效钾含量  $\geq 114$  mg/kg 的水稻田主要分布在南县的中北部, 占研究区总面积的 11.64%。土壤速效钾含量  $\leq 88$  mg/kg 的水稻田主要分布在研究区的西部和中南部, 占研究区总面积的 64.07%。土壤速效钾含量在 88 ~ 114 mg/kg 的水稻田主要分布在南县的东部地区, 占研究区总面积的 24.29%。南县大部分土壤速效钾含量较低, 研究区的东部和西部都是洞庭湖沿湖低平地, 水稻田土壤钾化合物容易溶解于水, 其迁移和淋溶作用较强, 容易造成土壤中钾的流失。因此在这一区域应注重钾肥的施用, 保证水稻生长对速效钾的需要。

南县大部分地区有机质含量丰富, 土壤有机质含量  $\geq 34$  g/kg 的高值区主要分布在南县的中部和南部, 占研究区总面积的 37.86%。该区域水稻田土壤含水量高, 透气性较差, 由于地势较低, 土壤湿度也较低, 微生物活动相对较弱, 有利于土壤腐殖质的积累, 因此土壤中有机质含量较高。土壤有机质含量  $\leq 30$  g/kg 的区域主要分布在南县

东部, 占研究区总面积的 36.40%。有机质含量在 30 ~ 34 g/kg 的水稻田主要分布在南县西部和中北部, 占研究区总面积的 25.74%。

南县土壤有效磷含量普遍较低, 研究区东部和西部由于土壤 pH 值较高, 土壤偏碱, 土壤中通常含有较高的钙离子, 磷酸根离子容易与钙离子形成磷酸钙沉淀, 从而降低磷的有效性。土壤有效磷含量  $> 28$  mg/kg 的水稻田主要分布在南县的中北部地区, 占研究区总面积的 9.63%。  $\leq 20$  mg/kg 的低值区主要分布于南县东部和西部, 占研究区总面积的 71.73%。土壤有效磷含量 20 ~ 28 mg/kg 的水稻田主要分布于南县中部, 占研究区总面积的 18.64%。

## 2.3 土壤类型和地形对水稻田土壤肥力因子空间分布的影响

### 2.3.1 土壤类型

洞庭湖南岸南县水稻田主要土壤类型为紫潮土、间砂紫潮土、青紫潮泥、砂底紫潮泥等。紫潮土类型分布最广, 占采样总数的 70%。其次是间砂紫潮土和青紫潮泥, 分别占采样总数的 15% 和 10%。以砂底紫潮泥土种分布最少, 只占 5%。

由表 2 可知, 土壤有效氮含量青紫潮泥最高, 平均值为 186.00 mg/kg。其次是紫潮土和砂底紫潮泥, 平均值分别为 182.52、180.53 mg/kg, 间砂紫潮土有效氮含量最低, 平均值为 177.47 mg/kg。土壤有效氮含量在不同土壤类型中均属中等变异。

表 2 研究区不同类型水稻田土壤肥力因子含量

土壤类型	样本数	有效氮		有效磷		速效钾		有机质	
		平均值 (mg/kg)	变异系数 (%)	平均值 (mg/kg)	变异系数 (%)	平均值 (mg/kg)	变异系数 (%)	平均值 (g/kg)	变异系数 (%)
紫潮土	4 227.00	182.52	29.19	20.57	74.02	86.96	55.75	31.90	29.98
间砂紫潮土	400.00	177.47	30.81	20.12	73.86	81.12	52.01	28.74	31.51
青紫潮泥	367.00	186.00	23.69	17.47	52.29	67.04	31.89	38.55	21.90
砂底紫潮泥	123.00	180.53	23.75	15.54	50.41	57.31	29.32	34.23	23.97

土壤有效磷含量紫潮土最高, 平均值为 20.57 mg/kg, 变异系数为 74.02%, 其次为间砂紫潮土和青紫潮泥, 平均值分别为 20.12、17.47 mg/kg, 砂底紫潮泥有效磷含量最低, 只有 15.54 mg/kg。土壤有效磷含量在不同土壤类型中均属中等变异。

土壤速效钾含量紫潮土最高, 平均值为 86.96 mg/kg, 变异系数为 55.75%。其次是间砂紫潮土和青紫潮泥, 平均值分别为 81.12、67.04 mg/kg。砂底紫潮泥速效钾含量最低, 平均值为 57.31 mg/kg。土壤速效钾含量在不同土壤类型中均属中等变异。

土壤有机质含量青紫潮泥最高, 平均值为 38.55 g/kg, 变异系数为 21.90%, 其次为砂底紫潮泥和紫潮土, 有机质含量分别是 34.23、31.90 g/kg。间砂紫潮土有机质含量最低, 平均值为 28.74 g/kg。各土种之间土壤 pH 值差异很小。土壤有机质含量在不同土壤类型中其变异系数均属中等变异。

### 2.3.2 地形

洞庭湖南岸南县的地形大致可分为三类, 即河网平原低洼地、河湖沉积低平原和沿湖低平地。其中以河湖沉积低平原的水稻田面积最大,

占研究区总面积的80%,其次是沿湖低平地,其水稻田面积占研究区总面积的13%,河网平原低洼地水稻田面积最小,占研究区总面积的7%。

不同地形条件会造成水稻田的土壤肥力因子含量产生差异。表3显示,土壤有机质、有效磷、

速效钾含量都以沿湖低平地为最高,平均值分别是32.57 g/kg, 22.22、91.81 mg/kg。其次是河湖沉积低平原水稻田,这三种土壤养分含量平均值分别是31.80 g/kg, 19.89、84.02 mg/kg。河网平原低洼地水稻田最低,这三种土壤肥力因子含量分别是

表3 研究区不同地形土壤肥力因子含量

地形	样本数	pH		有机质		有效氮		有效磷		速效钾	
		平均值	变异系数(%)	平均值(g/kg)	变异系数(%)	平均值(mg/kg)	变异系数(%)	平均值(mg/kg)	变异系数(%)	平均值(mg/kg)	变异系数(%)
河网平原低洼地	1 164.00	7.91	1.61	31.58	26.43	51.45	55.71	17.48	45.70	77.11	31.29
河湖沉积低平原	6 931.00	7.90	1.38	31.80	23.65	53.56	54.00	19.89	51.16	84.02	40.17
沿湖低平地	1 755.00	7.90	1.50	32.57	20.85	52.79	54.55	22.22	56.30	91.81	42.20

31.58 g/kg, 17.48、77.11 mg/kg。土壤有效氮含量河湖沉积低平原水稻田最高,平均值为53.56 mg/kg,其次是沿湖低平地,平均值为52.79 mg/kg,河网平原低洼地水稻田最低,平均值为51.45 mg/kg。土壤pH值三种地形之间相差不大。

#### 2.4 影响水稻田土壤肥力因子提高的土壤障碍因子

洞庭湖南岸水稻田根据土壤环境所存在的障碍因子可分为各种障碍型水稻田。如障碍层次型水稻田是指受到土壤母质、地形条件影响,土层

中有些沙漏、青隔等阻碍作物生长发育的不良耕地。渍潜稻田型是指由于生长地洪水泛滥及地形低洼,排水不良,引起涝水潜浮现象的水稻田。渍涝排水型是指河湖沿岸、堤坝水渠外侧天然的小盆地,因地势低洼,排水不畅,出现劣质式季节性渍涝的耕地。瘠薄培肥型是指由于受干旱、高寒等造成土壤结构不良,养分低下的农田。灌溉改良型农田是指由于降水不足或不均匀,与作物需水量不同步等原因使作物需水要求达不到满足,但可以通过修建灌溉系统发展灌溉农业。

表4 不同障碍因子下研究区水稻田土壤肥力因子含量

障碍类型	样本数	pH		有机质		有效氮		有效磷		速效钾	
		平均值	变异系数(%)	平均值(g/kg)	变异系数(%)	平均值(mg/kg)	变异系数(%)	平均值(mg/kg)	变异系数(%)	平均值(mg/kg)	变异系数(%)
灌溉改良型	222.00	7.93	1.95	29.08	31.88	166.41	28.04	18.53	67.06	75.37	50.60
瘠薄培肥型	537.00	7.92	1.74	26.68	34.81	174.78	32.00	22.38	77.16	88.77	53.43
障碍层次型	298.00	7.90	2.24	37.03	24.74	182.21	24.97	17.02	54.14	63.20	35.19
渍潜稻田型	196.00	7.90	1.53	38.54	18.85	190.87	20.45	17.23	53.80	66.89	27.05
无明显障碍型	3 872.00	7.90	2.35	32.45	28.91	183.88	28.94	20.42	73.60	86.75	55.89

从表4可以看出,土壤有机质含量以障碍层次型水稻田和渍潜稻田型水稻田比较高,平均值分别是37.03、38.54 g/kg。其余的依次是无明显障碍型>灌溉改良型>瘠薄培肥型。其平均值分别是32.45、29.08、26.68 g/kg。土壤有效氮含量渍潜稻田型水稻田最高,平均值为190.87 mg/kg。其次是无明显障碍型和障碍层次型水稻田,土壤有效氮含量平均值分别为183.88、182.21 mg/kg,其变异系数均为中等。灌溉改良型和瘠薄培肥型水稻田土壤有效氮含量比较低,平均值分别是166.41、174.78 mg/kg。土壤有效磷含量瘠薄培肥型最高,平均值为22.38 mg/kg,其次是无明显障碍型和灌

溉改良型,平均值分别是20.42、18.53 mg/kg。土壤有效磷含量最低的是障碍层次型水稻田,平均值为17.02 mg/kg,变异系数为中等。土壤速效钾含量瘠薄培肥型水稻田最高,平均值为88.77 mg/kg,变异系数为中等。其余依次为无明显障碍型>灌溉改良型>渍潜稻田型>障碍层次型,平均值分别是86.75、75.37、66.89、63.20 mg/kg,变异系数均为中等。

### 3 结论与讨论

3.1 洞庭湖南岸南县水稻田土壤大部分为碱性土壤,有机质和有效氮含量大部分地区为极高,

变异系数以土壤有效磷为最高。有效磷和速效钾含量大部分地区为低值。这说明南县大部分区域应增加有效磷和速效钾的施用,保证水稻的稳产高产,在土壤有效磷特别低的水稻田,应该采用水旱交替的轮作方式增加土壤有效磷含量。同时也应注意有些土壤有机质和有效氮含量过高的水稻田,应该减少这些肥料的投入量,能够保证满足水稻生长即可,同时也可避免农业面源污染增加对洞庭湖生态的影响<sup>[14-15]</sup>。

**3.2 土壤有效氮含量大于 198 mg/kg 的高值区**主要分布于南县的中北部,而大部分土壤的有效氮含量小于 178 mg/kg,主要分布在南县东部和西部。南县大部分水稻田土壤速效钾含量 $\leq 88$  mg/kg,主要分布在南县西部和中南部。南县大部分水稻田土壤有效磷含量 $\leq 20$  mg/kg,主要分布于南县的东部和西部。土壤有机质含量 $\geq 34$  g/kg 的高值区主要分布在南县中部和南部。土壤 pH $>7.9$  的碱性水稻田主要分布在南县中部和西南部、西北部。

**3.3 洞庭湖南岸南县水稻田主要土壤类型为紫潮土、间砂紫潮土、青紫潮泥、砂底紫潮泥等。**紫潮土土类分布最广。土壤有效氮含量以青紫潮土为最高,其次是紫潮土和间砂紫潮土。土壤有机质含量则以青紫潮泥为最高,其次为砂底紫潮泥和紫潮土。南县地形可分为河网平原低洼地、河湖沉积低平原和沿湖低平地。其中以河湖沉积低平原地形的水稻田面积最大。土壤有机质、有效磷和速效钾含量都以沿湖低平地为最高,土壤有效氮含量则以河湖沉积低平原水稻田为最高。

**3.4 洞庭湖南岸南县水稻田根据土壤所存在的障碍因子**可分为障碍层次型、渍潜稻田型、渍涝排水型、瘠薄培肥型和灌溉改良型水稻田。土壤有机质含量障碍层次型和渍潜稻田型水稻田比较高,土壤有效氮含量渍潜稻田型水稻田最高,土壤速效钾含量瘠薄培肥型水稻田最高。

**3.5 南县水稻田土壤酸化的面积较大,**其原因是该区域施用的化肥主要是尿素、氯化铵、过磷酸钙和氯化钾,以生理酸性肥料为主,加上水稻土对酸缓冲能力较弱,导致土壤酸化问题已成为该地区最主要的肥力障碍因子<sup>[9]</sup>,应该采取增施有机肥、推行秸秆还田<sup>[16]</sup>、减施化肥、调整化肥中各成分的比例和在受到酸化障碍因子影响的农田施

用适量石灰等措施,以提高资源利用效率、降低化肥对环境的胁迫、防治土壤酸化退化,进而促进区域农业的可持续发展。

#### 参考文献:

- [1] 陈 防,刘冬碧,姜丽娜,等.中亚热带两种水稻土壤养分空间变异的对比研究[J].土壤学报,2006,43(4):687-691.
- [2] 李 强,周冀衡,宋淑芳,等.基于地统计学的罗平烟区土壤主要养分丰缺评价[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2015(1):42-46.
- [3] 赵晓芳,黄明斌.黄土高原王东沟小流域土壤表层氮的空间分布[J].水土保持研究,2019(4):62-67.
- [4] 宋 峰,陈桂芬,于国伟.基于 GIS 与空间数据库技术的土壤肥力评价研究[J].吉林农业科学,2014,39(6):43-46.
- [5] 张 丽,刘吉平,陈智文.吉林省梨树县保护性耕作土壤养分空间变异性研究[J].吉林农业科学,2014,39(3):36-41.
- [6] 葛少华,李朋彦,刘国顺,等.乡镇尺度烟田土壤有机质时空变异性研究—以襄城县紫云镇为例[J].土壤,2018,50(5):1006-1012.
- [7] 罗伏安.环洞庭湖平原区稻田土壤肥力特征与评价—以益阳市赫山区笔架山乡稻田土壤为例[J].湖南农业科学,2013(17):62-64.
- [8] 任雪菲,黄道友,罗尊长,等.洞庭湖区农田土壤肥力因子的演变及其原因分析[J].土壤通报,2014,45(3):691-696.
- [9] 余 涛,杨忠芳,唐金荣,等.湖南洞庭湖区土壤酸化及其对土壤质量的影响[J].地学前缘,2006,13(1):98-104.
- [10] 刘 聪,周 清,屈金莲,等.不同地形条件下样点密度对土壤养分空间变异的影响[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2013,39(1):80-85.
- [11] 赵 杰,齐 松,曹丽萍,等.峡江县土壤养分空间特征及与地形因子的相关性[J].水土保持研究,2018(20):118-123.
- [12] 张世文,周 妍,罗 明,等.报废弃地复垦土壤重金属空间格局及其与复垦措施的关系[J].农业机械学报,2017,48(12):237-247.
- [13] 冯 晖,陈 达,陈海生,等.基于 Penman-Monteith 的浙江省杂交晚稻雨优 17 需水量空间变异性[J].东北农业科学,2020,45(3):81-85.
- [14] LI Qiquan, LUO Youlin, WANG Changquan, et al. Spatiotemporal variations and factors affecting soil nitrogen in the purple hilly area of southwest China during the 1980s and the 2010s [J]. Science of the total environment, 2016, 547: 173-181.
- [15] 刘 杰,张杨珠,罗尊长,等.湘南丘岗红壤地区土壤肥力质量指标的空间变异特征[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2011(1):96-101.
- [16] 朱 晶,张巴奇,冉 成,等.秸秆还田对松嫩平原西部苏打盐碱地稻田土壤养分及产量的影响[J].东北农业科学,2021,46(1):42-46,51.

(责任编辑:王 昱)