



张鑫, 徐霄, 江天, 李贝, 陈文君, 郭佳旭, 周冉冉, 田静. 浙江省衢州市水稻生产现状及土壤质量评价[J]. 中国农业大学学报, 2024, 29(12):33-44.
ZHANG Xin, XU Xiao, JIANG Tian, LI Bei, CHEN Wenjun, GUO Jiaxu, ZHOU Ranran, TIAN Jing. Current status of rice production and soil quality evaluation in Quzhou City, Zhejiang Province, China[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(12):33-44.
DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2024.12.04

浙江省衢州市水稻生产现状及土壤质量评价

张鑫¹ 徐霄¹ 江天² 李贝² 陈文君² 郭佳旭² 周冉冉² 田静^{2*}

(1. 衢州市美丽乡村建设中心, 浙江 衢州 323000;

2. 中国农业大学 资源与环境学院/国家农业绿色发展研究院, 北京 100193)

摘要 为探究浙江省衢州市水稻种植和土壤肥力现状, 基于247份农户问卷调查和152份土样检测数据, 采用主成分分析法和成本效益分析法, 从土壤理化性质、水稻种植品种、种植模式、肥料施用和成本收益等方面分析了区域水稻生产现状及土壤质量。结果表明: 1) 衢州市水稻种植主要采用“双季稻”即“早稻-晚稻”模式, 占调研总户数73.01%; 其次为“单季稻”即“单种早/中/晚稻”模式, 占调研总户数17.32%。水稻品种以杂交稻为主, ‘甬优1540’等优质稻种植比例较高。2) 化肥施用普遍超标, 32.54%的种植户氮肥用量超过240 kg/hm², 磷肥和钾肥平均用量分别为123和155 kg/hm², 均严重超过当地推荐用量标准。3) 区域稻田土壤pH平均为5.84, 偏酸性; 有机质和全氮含量处于较高水平, 而全磷含量偏低; 区域间土壤质量指数存在显著差异, 主要受土壤有效磷、有机质和微生物量碳含量的影响。4) 不同水稻种植模式下, “双季稻”产量最高, “单季稻”次之; 但“单季稻”的产投比和利润率优于“双季稻”, 经济效益较高, 结合当地劳动力短缺现状, 更受种植户青睐。因此, 建议加快选育和推广适宜衢州市种植的优质抗病水稻品种; 减少矿物肥料用量, 合理配施有机肥提高肥料的利用效率; 加大土壤酸化治理力度; 推动高标准农田建设和农业机械化进程, 促进区域水稻产业的高质量发展, 从而助力乡村振兴和农业现代化建设。

关键词 土壤质量评价; 种植模式; 肥料应用; 成本收益

中图分类号 S159

文章编号 1007-4333(2024)12-0033-12

文献标志码 A

Current status of rice production and soil quality evaluation in Quzhou City, Zhejiang Province, China

ZHANG Xin¹, XU Xiao¹, JIANG Tian², LI Bei², CHEN Wenjun², GUO Jiaxu²,
ZHOU Ranran², TIAN Jing^{2*}

(1. Quzhou Beautiful Countryside Construction Center, Quzhou 323000, China;

2. College of Resources and Environment Sciences, National Academy of Agriculture Green Development, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract In order to investigate the current situation of rice cultivation and soil fertility in Quzhou City, Zhejiang Province, based on 247 questionnaires from farmers and 152 soil samples, the current situation of regional rice production and soil quality was analyzed from the aspects of soil physical and chemical properties, rice cultivation varieties, planting patterns, fertilizer application and cost-benefit analysis by using principal component analysis and cost-benefit analysis. The results showed that: 1) Quzhou City mainly adopted the “double-season rice”, i. e., “early rice-late rice” mode, accounting for 73.01% of the total number of households in the study; followed by the “single-season rice”, i. e., “single early/middle/

收稿日期: 2024-01-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(32071629); 碳账户核算及减排固碳技术研究项目(衢农合2022-31); 衢州市农业碳中和账户建设项目(衢农合2021-27)

第一作者: 张鑫(ORCID: 0009-0003-4425-4192), 中级农艺师, 主要从事土壤肥料、农村能源等研究, E-mail: 66354788@qq.com

通讯作者: 田静(ORCID: 0000-0002-8116-8520), 副教授, 主要从事土壤碳氮循环过程和土壤健康研究, E-mail: tianj@cau.edu.cn

late rice” mode, accounting for 17.32% of the total number of households in the study. Rice varieties are mainly hybrids, with a high proportion of high-quality rice varieties such as ‘Yongyou1540’. 2) Fertilizer application generally exceeded the standard. Around 32.54% of the growers used more than 240 kg/hm² of nitrogen fertilizer, and the average amounts of phosphorus fertilizer and potash fertilizer were 123 and 155 kg/hm² respectively, which seriously exceeded the local recommended dosage standard. 3) The average of regional paddy field soil pH was 5.84 and the soil was acidic; the content of organic matter and total nitrogen was at a relatively high level, while the content of total phosphorus was low. There was significant difference in soil quality index between regions, which was mainly affected by the content of effective phosphorus, organic matter and microbial carbon. 4) Under different planting modes, the yield of “double-season rice” was the highest, followed by “single-season rice”. However, the production/input ratio and profitability of “single-season rice” were better than that of “double-season rice”, with higher economic benefits, and it was more preferable to the growers combined with the current situation of labor shortage in the region. Therefore, it is recommended to accelerate the selection and promotion of high-quality and disease-resistant rice varieties suitable for planting in Quzhou City, reduce the amount of mineral fertilizers and reasonably apply organic fertilizers to improve the utilization efficiency of fertilizers, increase the management of soil acidification and promote the construction of high-standard farmland and the process of agricultural mechanization, so as to promote the high-quality development of the regional rice industry, thereby contributing to the revitalization of the countryside and the construction of agricultural modernization.

Keywords soil quality assessment; cropping patterns; fertilizer application; cost-benefit

水稻是我国重要的粮食作物之一,在保障国家粮食安全中扮演着举足轻重的角色^[1]。近年来我国水稻种植面积虽略有降低,但产量保持稳定且略有增加^[2]。为进一步提高水稻产量、保障粮食安全,采取科学合理的稻田管理措施以维持和提高稻田土壤肥力尤为关键。然而,受自然条件和农业发展状况影响,我国水稻种植区分布广泛,水稻土类型较多,加之肥料施用、耕作措施和田间管理等存在差异,导致水稻土的肥力存在高度时空异质性^[3]。系统调研水稻田土壤肥力现状和生产现状,比较不同种植模式下的水稻成本效益,采取针对性措施提高生产经营效益,对提高农民收入、稳定粮食生产能力和保障国家粮食安全具有重要意义^[4]。

目前国内学者对我国区域稻田生产现状及土壤肥力已开展一系列研究。在水稻生产方面,江西省双季稻面积近40年呈先减后增再减的波动变化,单季稻面积则持续增加^[5];安徽省水稻生产规模与效益也呈增长趋势^[6]。在土壤肥力方面,不同区域间肥力存在显著差异。广东英德稻田土壤总体呈酸性,有机质和全氮含量中等偏丰富,但速效钾普遍缺乏^[7];江苏扬州作为长江中下游粮食主产区,在1984—2014年耕层土壤肥力显著上升,有机质、全氮和有效磷含量增加,而速效钾含量下降^[8]。因此土壤有机质、全氮和有效磷等指标是影响南方土壤

肥力变化的关键因素。朱德峰等^[9]研究了浙江省在1993—2004年水稻种植制度及种植区划的变化,但未详细分析浙江省水稻生产管理技术特点。石艳平等^[10]研究表明,浙江省杭州市大同镇表层土壤pH偏低,有机质和碱解氮含量丰富,有效磷和速效钾含量变异性大,但调研区域较局限,缺乏普适性。当前研究很少系统性地关注浙江省水稻生产状况及稻田土壤肥力特征,因此有必要对浙江省的市、县域范围的水稻种植模式、土壤肥力和施肥用量等情况开展进一步研究。

本研究于2022年1—2月在浙江省衢州市各区县开展种植业基线调研,利用第一手数据剖析该区域水稻种植现状和稻田土壤肥力特征,探索水稻生产效益和稻田土壤质量的显著影响因子,为农田培肥改良及政府部门制定农业发展决策提供参考。

1 研究区概况

衢州市位于浙江省西部,钱塘江上游。属亚热带季风气候区,全年四季分明,冬夏长、春秋短,光热充足、降水丰沛、气温适中且无霜期长。根据衢州市第3次全国国土调查数据^[11],全市耕地10.50万hm²,水田占总耕地的84.59%。水稻是衢州市粮食生产的基石^[12],2021年全市水稻种植面积

为 6.41 万 hm^2 , 占种粮总面积的 71.60%; 水稻产量约为 45.73 万 t, 占全市粮食总产量的 82.59%。其中, 各类水稻产量分别为: 早稻 11.22 万 t, 单季晚稻 24.70 万 t, 连作晚稻 9.82 万 t。全市耕地面积前 3 位的县级行政区为江山市、衢江区和龙游县, 占全市耕地的 66.88%。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

本研究于 2022 年 1—2 月对浙江省衢州市的江山市、龙游县和衢江区 3 个县级行政区开展水稻种植户生产经营及销售情况实地调查。选取这 3 个区域调研获取衢州市水稻种植业数据的主要原因如下: 1) 江山市、龙游县和衢江区是浙江省衢州市的水稻主产区, 水稻是当地农业发展的支柱产业; 2) 3 个区域横跨浙江省的金衢盆地单双季籼稻区的

西部和中部^[9,13], 该区域水稻种植面积占浙江省的 17.50%, 不同区域农业及经济发展水平存在一定差异性, 阶梯特征较明显, 能较好反映不同层次水稻种植户生产经营状况; 3) 所选区域均属于土层上部为强酸性粘质红壤、下层为紫色岩层发育紫色土的“衢江红砂岩”地貌区^[14], 此地貌占全省面积的 6%, 坡度较缓, 水利条件好, 在水稻土研究方面地位颇为重要。因此, 选择这 3 个县级行政区作为研究区域, 其研究结论具有典型性和代表性。调研共发放问卷 260 份, 剔除逻辑不通、关键信息不完整、数据异常等问卷后, 获得有效问卷 247 份, 有效率为 95%。对农户开展问卷调查后, 调研人员在水稻种植典型地块上采集土壤样品^[15], 以探究土壤理化指标对稻田土壤质量水平的影响, 剔除筛选不符合检测标准的样品后, 共获得有效土壤样品 152 份。各区域问卷及采集土样数量详见表 1。

表 1 各个调研地区的种植户问卷与土样的数量

Table 1 Number of grower questionnaires and soil samples in each survey area

份

县级行政区 County-level region	乡镇行政区 Township-level region	问卷数量 Number of questionnaires	土样数量 Number of soil samples
江山市 Jiangshan City	大桥镇、凤林镇、贺村镇、石门镇、坛石镇、峡口镇、清湖街道	100	55
龙游县 Longyou County	横山镇、湖镇镇、小南海镇、詹家镇、龙洲街道	73	47
衢江区 Qujiang District	杜泽镇、高家镇、莲花镇、全旺镇、云溪乡、周家乡、樟潭街道	74	50

2.2 调研方法

调查遵循多阶段分层抽样与随机抽样相结合原则, 抽样过程为: 首先考虑衢州市各区域历史水稻种植面积、产量、地理环境和区域经济发展水平, 随机抽取 1~3 个县(县级区、市); 其次根据研究目的和县级农业农村局相关部门负责人获取信息, 在每个县(县级区、市)随机抽取 5~8 个乡镇, 每个乡镇随机抽取 5~8 个行政村, 每个行政村随机抽取 3~5 个水稻种植户进行面对面访谈, 获取第一手信息。

为保证问卷有效性, 调研团队在正式调查前, 选择龙游县开展小规模预调查, 在此基础上对问卷进行修改完善。在实际调研中, 调查对象为从事种

植业的主要决策者, 一般为家庭户主。在面对面访谈中, 为提高数据收集效率并保证数据可靠性, 设定农户当前耕作的最大面积, 且长期以水稻种植为主的地块为典型地块。问卷调研内容包括农户水稻种植面积、该地块土壤肥力特征、水稻品种、种植模式、施肥用量、各生产环节(栽种、施肥、打农药和收割等)和投入成本等信息^[16]。

2.3 样品采集及分析

每个采样地块避开施肥位置采集 0~20 cm 土层的土壤样品, 按照“S”型路线随机选择 5 点取样。样品混合后, 使用四分法取足量样品代表该地块土壤。所有样品贴好标签, 带回实验室, 放在阴凉通风的样品室风干。在半干时, 用手将大土块掰碎,

捡去石子和碎草。晾干后,过20目筛备用。最终获取有效土样共152份(表1)。

土壤理化性质采用常规方法分析^[17-18],包括土壤pH、有机质、全氮、全磷、有效磷、速效钾和微生物量碳。土壤pH采用电位法(HJ962-2018)测定,有机质采用重铬酸钾氧化法测定,全氮采用凯氏蒸馏法测定,全磷采用HClO₄-H₂SO₄双酸法和钼蓝比色法测定,有效磷采用0.5 mol/L NaHCO₃提取-

钼锑抗比色法测定,土壤微生物量碳参照熏蒸法测定。

2.4 耕地质量等级划分

参考相关标准^[19],将耕地质量划分为10个耕地质量等级,一等耕地质量最高,十等耕地质量最低。利用土壤pH和有机质等指标对区域耕地质量进行等级划分,其中长江中下游区(含浙江省衢州市)的耕地质量指标分级见表2。

表2 耕地质量分级
Table 2 Cropland quality classification

等级 Level	有机质质量分数/(g/kg) Mass fraction of organic matter	pH
一等 First class	≥24	6.0~8.0
二等 Second class		
三等 Third class		
四等 Fourth class	18~40	5.5~8.5
五等 Fifth class		
六等 Sixth class	10~30	4.5~6.5 或 8.5~9.0
七等 Seventh class		
八等 Eighth class		
九等 Ninth class	<10	>9.0 或 <4.5
十等 Tenth class		

利用主成分分析法(Principal component analysis, PCA)对衢州市土壤质量进行评价^[20-22]。土壤质量评价(Soil quality index, SQI)采用全数据集的方式^[23],主要分为3个步骤:1)基于标准评分函数(Standard score function, SSF)的指标评分;2)每个指标的主成分分析与权重;3)将指标得分整合到SQI。对于步骤1),使用非线性评分将所有测量的指标转换为无量纲值(范围从0到1)。考虑到农艺和环境土壤功能,使用3个SSF为每个指标分配分数,即“越多越好”“越少越好”和“中点最佳”。将“中点”的SSF应用于pH,其余各项指标使用“越多越好”进行评分。计算公式如下:

$$S=\frac{a}{\left[1+\left(\frac{x}{x_0}\right)^b\right]}$$

(1)

式中:S为每个土壤指标标准化后的得分;a为每个

指标所能达到的最好值;x为每个指标的真实值;x₀为每个指标在各个处理中的平均值;b为等式的斜率,对于“越多越好”的指标为-2.5,对于“越少越好”的指标为2.5。

对于步骤2),利用PCA法提取公因子方差,将每个指标得到的公因子方差除以所有指标公因子方差之和得到每个指标的权重。在对所有的指标进行评分和加权后,使用以下公式计算SQI。

$$SQI=\sum_{i=1}^nS_i\times W_i$$

(2)

式中:SQI为综合各项指标得出的土壤质量指数;n为土壤指标的个数;S_i为标准化得分后的值;W_i为每个土壤指标的权重值。

2.5 水稻生产成本效益分析

采用成本效益分析法(Cost-benefit analysis, CBA)^[24],选择种植农作物每667 m²平均种子、化

肥、农药、机械作业、人工成本、土地租金和其他农资费用作为成本指标,选择每 667 m²平均纯利润、产投比和利润率作为效益指标,对当地不同水稻种植模式进行成本效益比较分析。

2.6 数据处理

问卷调查和土壤指标测定数据用 Excel 和 SPSS Statistics 22.0 进行统计分析,采用单因素分析法对土壤理化性质、土壤质量指数和肥料施用量等指标进行显著性分析, $P<0.05$ 为差异显著。

3 结果与分析

3.1 水稻种植户样本特征

问卷调研主要在衢州市的江山市、龙游县和衢江区 3 个粮食主产区开展(表 3)。在农户水稻种植面积上,多集中在 6.68~33.33 hm² 的规模,占被调研种植户总数的 58.70%,表明水稻种植模式偏向中小规模经营。在年龄分布上,51~60 岁的种植户最多,占比为 45.75%。学历水平主要在初中以下,占比 68.42%。这些特征反映出衢州市水稻种植户以中老年群体为主,且普遍学历不高。中小规模种植面积可能限制了机械化应用和规模经营效益的

发挥。农户的年龄结构和学历水平也影响着新技术的推广和应用,进而制约了衢州市水稻产业的进一步发展^[16]。

3.2 水稻生产品种结构和种植模式

浙江省衢州市种植的优质稻品种主要为‘甬优 1540’‘中早 39’‘甬优 9 号’‘中嘉早 17’‘甬优 15 号’‘中组 143’‘甬粳 15’‘嘉丰优 2 号’‘金早 47’等(图 1(a))。这些优质稻米品种产量高、外表品质好、整精米率高且口感较好,因此受到当地种植户的喜爱。在水稻品种上,主要以‘甬优’系列等杂交稻为主,常规稻种为辅。杂交稻产量高效益好,但种子价格高,一般价格在 50~60 元/kg,而常规稻农户可自留种,价格在 3~10 元/kg。在种植生产过程中,化肥、农药、种子、农膜、秧盘、柴油、农机服务和人工均明显涨价,提高了种粮成本并降低了种粮收益,这直接影响农民种粮的积极性^[25]。

衢州市水稻种植户选择的种植模式主要包括“双季稻(早稻-晚稻)”、“单季稻(早/中/晚稻)”、“早稻-油菜”、“中稻-油菜”,分别占总调研数的 73.01%、17.32%、5.10% 和 4.60%(图 1(b))。衢州地区水热条件较好,“双季稻”稻作区分布范围广。“双季稻”种植属于精耕细作的生产方式,复种指数高,单位耕地面积的水稻年产量明显高于“单季稻”。但由于“双季稻”种植效益偏低且当地缺少劳动力,农户认为利润不高,当地存在“双改单”(“双季稻”改“单季稻”)现象,个别农户采取主动调整种植结构、发展“早稻-油菜”“中稻-油菜”等多元种植模式和增加轮作休耕面积的行动,合理保障了种植户的实际收益^[1]。因此,衢州市“双季稻”种植面积稳定和增长仍存在阻碍和挑战。

3.3 稻田土壤养分状况及质量评价

根据土壤养分分级标准,对衢州市稻田土壤指标丰缺状况进行判断^[7,26]。衢州市的稻田土壤 pH 范围为 4.50~8.01,平均 5.84,中性偏酸;有机质的质量分数为 11.62~53.81 g/kg,平均为 31.21 g/kg,属于肥力较高水平;全氮的质量分数为 0.66~3.17 g/kg,平均为 1.65 g/kg;全磷的质量分数为 0.26~1.63 g/kg,平均为 0.65 g/kg;有效磷的质量分数范围为 1.23~67.13 mg/kg,平均为 12.01 mg/kg(表 4)。其中,pH 的变异系数为 11.30%,变异水平较低,各采样点间差异较小,土壤 pH 较均匀;有机质、全氮和全磷的变异系数分别为 29.21%、

表 3 水稻种植户的样本特征			
Table 3 Sample characteristics of rice growers			
特征 Feature	类别 Classification	数量/个 Amount	占比/% Proportion
种植面积 Cultivated area	<3.33 hm ²	31	12.55
	3.33~6.67 hm ²	30	12.15
	6.68~33.33 hm ²	145	58.70
	>33.33 hm ²	41	16.60
年龄 Age	30~40 岁	34	13.77
	41~50 岁	53	21.46
	51~60 岁	113	45.75
	>60 岁	47	19.03
学历水平 Educational level	小学及以下	48	19.43
	初中	121	48.99
	高中	43	17.41
	中专	15	6.07
	大专及以上	20	8.10

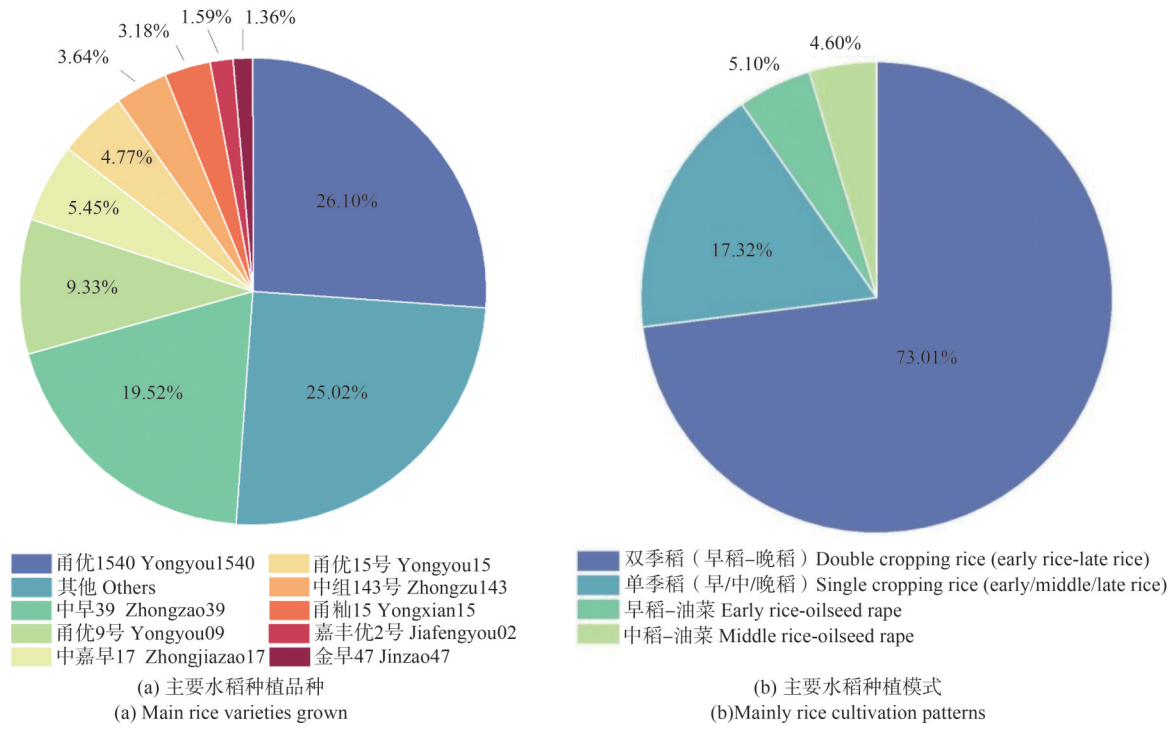


图1 衢州市水稻种植现状

Fig. 1 Status of rice cultivation in Quzhou City

表4 衢州市调研区稻田土壤养分指标描述性统计

Table 4 Descriptive statistics of soil nutrient indicators in paddy field studied in Quzhou City

统计量 Statistics	pH	有机质质量 分数/(g/kg) Mass fraction of organic matter	有效磷质量 分数/(mg/kg) Mass fraction of available phosphorus	全氮质量 分数/(g/kg) Mass fraction of total nitrogen	全磷质量 分数/(g/kg) Mass fraction of total phosphorus	微生物量碳质量 分数/(mg/kg) Mass fraction of microbial biomass carbon	土壤质量 指数 Soil quality index
最大值 Maximum	8.01	53.81	67.13	3.17	1.63	617	0.78
最小值 Minimum	4.50	11.62	1.23	0.66	0.26	2.85	0.21
平均值 Mean	5.84	31.21	12.01	1.65	0.65	152	0.46
标准差 Standard deviation	0.66	9.11	10.80	0.53	0.23	129	0.12

32.13%和35.42%,变异水平中等,各采样点间土壤肥力存在一定差异(表5)。表明衢州市稻田土壤pH均匀性较好,而有机质、全氮、全磷和有效磷含量区域差异性较大。

选取pH、有机质、有效磷、全氮、全磷和微生物

量碳含量6个指标作为土壤肥力质量评价的主要因子,对调研采集的152个典型地块土样进行质量评价。首先根据表5中的肥力指标,采用标准评分函数的公式(1)对各指标进行评分,再用PCA法提取公因子方差,并得出指标权重,其中pH的公因子方

表 5 衢州市调研区稻田土壤养分指标变异系数

Table 5 Coefficient of variation of soil nutrient indicators in paddy field studied in Quzhou City

%

统计量 Statistics	pH	有机质 Organic matter	有效磷 Available phosphorus	全氮 Total nitrogen	全磷 Total phosphorus	微生物量碳 Microbial biomass carbon	土壤质量指 数 Soil quality index
变异系数 Coefficient of variation	11.30	29.21	90.00	32.13	35.42	84.81	25.70

差为 0.95,权重为 0.19;有机质含量的公因子方差为 0.85,权重为 0.17;全氮含量的公因子方差为 0.86,权重为 0.17;全磷含量的公因子方差为 0.86,权重为 0.17;有效磷的公因子方差为 0.88,权重为 0.18;微生物量碳的公因子方差为 0.61,权重为 0.12。影响土壤质量指数的理化性质指标中,权重排序依次是:pH>有效磷>全磷≈全氮>有机质>微生物量碳。最后结合各指标,用公式(2)计算出各个样点的 SQI。对各样点所属的县(市、区)的土壤理化指标数据和 SQI 结果进行汇总(图 2),各地土壤 pH 均为中性偏酸,其中江山市的 pH 略高。在有机质方面,江山市的含量显著领先于其他两县区,这与其 SQI 的高分相符。有效磷含量在 3 个地区中差异显著,其中衢江区的含量相对较低,这也影响了其 SQI 的总体评分。全氮和全磷的含量在 3 地中较为均衡。而在微生物量碳方面,江山市同样具有优势。各项指标结果与三地的土壤质量指数结果相符(图 3),江山市的 SQI 最高(0.51),龙游县次之(0.44),衢江区最低(0.41)。综合来看,江山市在多数土壤理化指标上均表现较好,特别是有机质和微生物量碳的高含量对其土壤质量指数有显著提升($P<0.05$);而衢江区 SQI 最低,主要是由于其平均土壤有效磷含量较低,微生物量碳也显著低于其他 2 个地区($P<0.05$),从而影响其整体 SQI。综上,影响衢州市 3 个县级行政区土壤质量指数的主要因素是有效磷、有机质和微生物量碳含量。

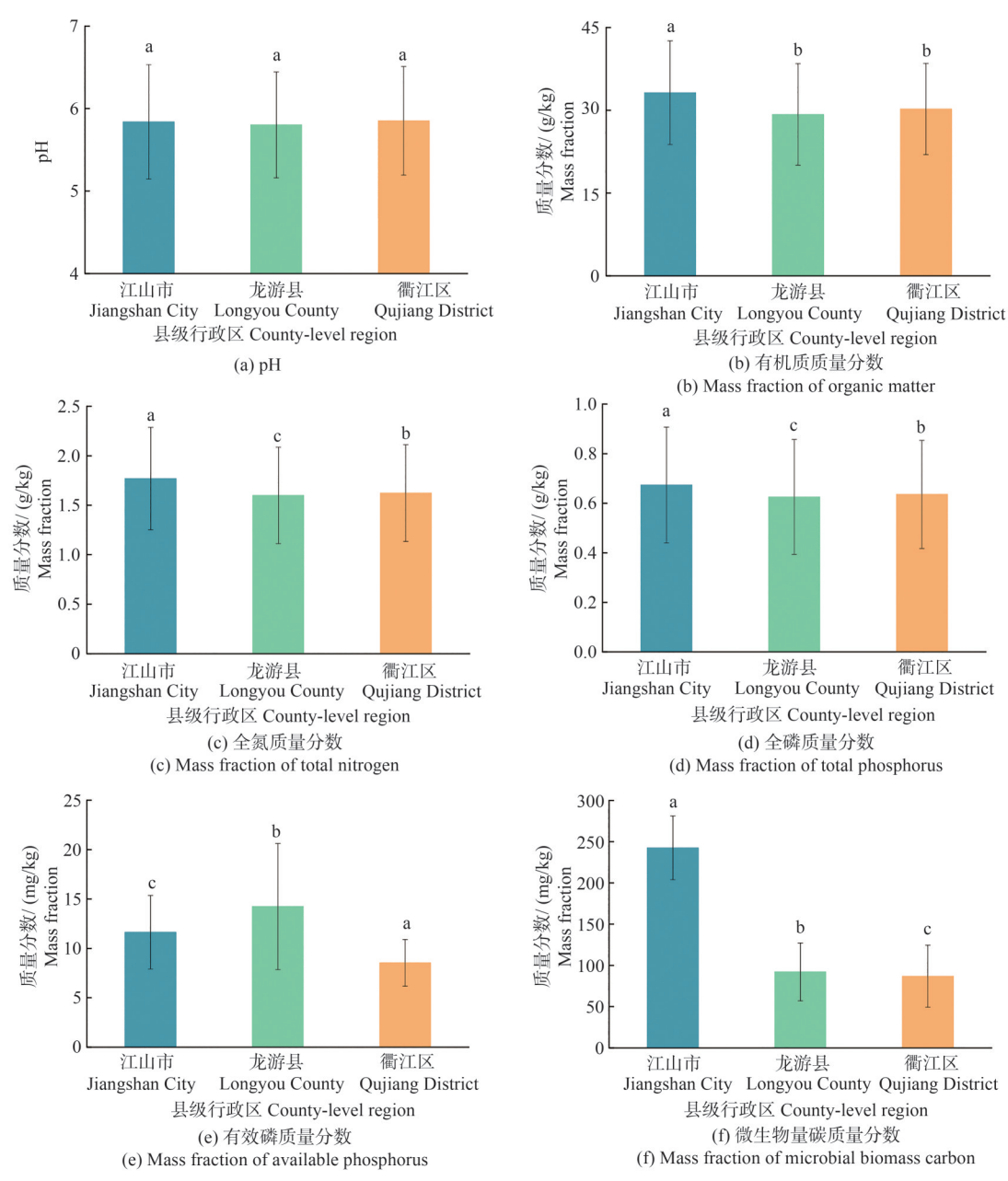
3.4 稻田施氮磷钾肥现状

养分管理是水稻栽培的重要环节,合理的施肥方式是提高肥料利用率、增加作物产量和减少肥料浪费的有效途径。本研究参考孙浩燕等^[27]划分的水稻氮磷钾肥的施用量分级方法,结合已有研究^[28-30],将水稻氮肥(N)、磷肥(P_2O_5)和钾肥(K_2O)

用量从低到高分别划分成 5 个层级,调研区域各分级用量见图 4。2022 年衢州市水稻肥料投入量调查数据表明,N、 P_2O_5 和 K_2O 平均用量分别为 237.55、117.01 和 148.83 kg/hm²。总体来看,氮肥投入量大于 240 kg/hm²的种植户最多,占比为 32.54%;其次为 160~200 和 200~240 kg/hm²,占比分别为 24.44% 和 23.40%。磷肥投入量在 60~80 kg/hm²最多,占比为 26.94%;其次为 >120 kg/hm²,占比为 22.83%。钾肥投入量在 >120 kg/hm²最多,占比为 53.11%;其次为 100~120 kg/hm²,占比为 21.58%。目前,衢州市稻田总体施肥量处于较高水平,且个体施肥量差异明显,可能是土壤质量区域差异性较大的原因。

单季稻因品种熟期和种植制度的不同可分为单季早稻、中稻、晚稻,其肥料投入量也存在一定差异^[1]。衢州市不同水稻种植模式的 N、 P_2O_5 和 K_2O 投入量调查结果表明(图 5),中稻的 N 平均投入量为 268 kg/hm²,表现出较高的养分投入,而早稻和晚稻 N 平均投入量分别为 233 和 236 kg/hm²,具有相似的养分输入水平。从不同养分投入类型分析,中稻、早稻和晚稻的 N 投入量间差异不显著,但是中稻的 P_2O_5 和 K_2O 投入量显著高于早稻和晚稻($P<0.05$),说明在氮肥投入方面,不同时期水稻种植中普遍存在过量施氮的情况,而在钾肥和磷肥投入方面,中稻的用量普遍高于早稻和晚稻用量。

结合《2022 年水稻科学施肥指导意见》^[31]和浙江省地方标准^[32]对衢州市水稻施肥用量要求,衢州市水稻种植氮肥用量应在 195~225 kg/hm²,磷肥用量应在 60~75 kg/hm²,钾肥用量应在 60~75 kg/hm²。其中,早稻氮肥投入应不超过 195 kg/hm²,磷肥投入应不超过 60 kg/hm²,钾肥投入应不超过 90 kg/hm²;晚稻氮肥投入应不超过



不同字母表示不同地区之间差异显著 ($P<0.05$)。误差线表示为标准差。下同。
Different letters represent the significant differences between different regions ($P<0.05$). Error bars indicate standard deviation of the mean. The same below.

图2 衢州市调研区稻田土壤理化性质

Fig. 2 Physical and chemical properties of rice field soil in the research area of Quzhou City

210 kg/hm²,磷肥投入应不超过 67.50 kg/hm²,钾肥投入应不超过 150 kg/hm²;中稻氮肥投入应不超过 255 kg/hm²,磷肥投入应不超过 75 kg/hm²,钾肥投入应不超过 135 kg/hm²。而实际氮肥、磷肥和钾肥用量均超过推荐用量,尤其是氮肥。因此,过量施肥可能造成地区性养分利用效率降低,环境中养分

富营养化会致使环境污染。

3.5 不同种植模式下生产成本收益

水稻种植是我国水稻主产区农民的主要收入之一^[33],不同种植模式下的水稻种植投入成本和经济收益存在明显差异(表6)。不同种植模式水稻种植投入成本依次为:“双季稻”>“中稻”>“晚稻”>

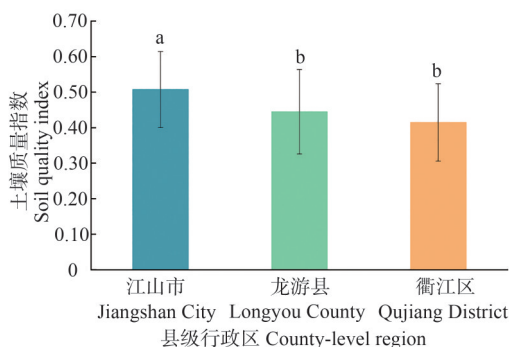


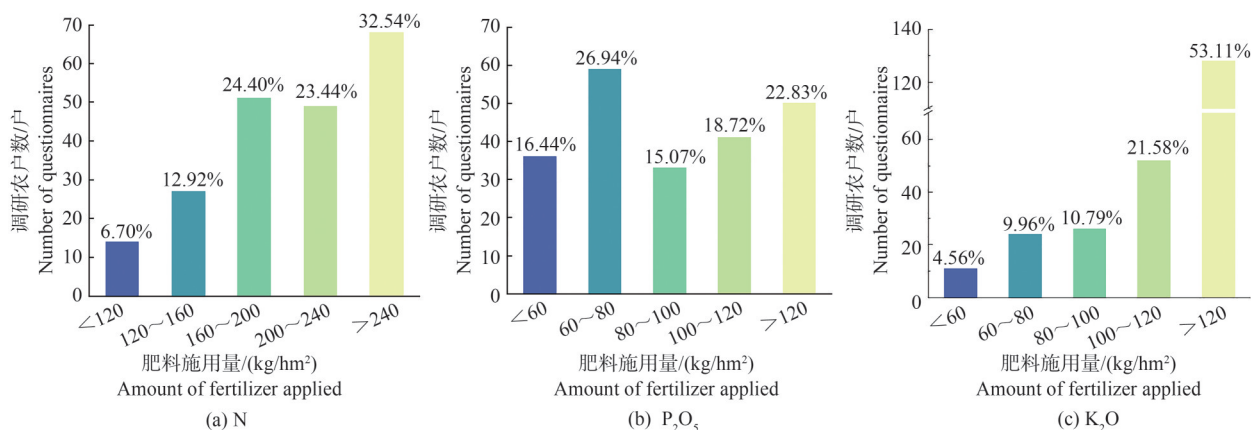
图3 衢州市调研区稻田土壤质量指数

Fig. 3 Soil quality index of rice paddies in the study areas of Quzhou City

“早稻”。种植户投入成本主要在土地租金、机械作业、肥料和农药方面。其中，“早稻”种植通常采用

直播,人工成本较低;而“中稻”和“晚稻”种植多采用人工移栽,水稻插秧机在当地应用区域较小,机械移栽技术未得到广泛应用,因此大幅增加人工成本,且农村劳动力缺乏,成本仍在逐年上涨。

水稻种植户选择种植模式主要依据经济效益水平^[5]。从表6可见,“中稻”的纯利润、产投比和利润率均属于较高水平。“双季稻”虽然产投比和利润率较低,但表现出最高的纯利润,因此,“中稻”和“双季稻”是衢州市水稻的主要种植模式(图1)。此外,“早稻”的纯利润、产投比和利润率较高,但“晚稻”的纯利润、产投比和利润率过低。结合衢州市农村青壮年劳动力短缺、“双季稻”种植对灌溉和气候条件要求高等问题,衢州市更多农户选择“中稻”种植模式,种植“中稻”的面积逐年增加。



直方图上方数字为施肥量范围对应的种植户数在总调研户数中的占比。

The numbers at the top of the histogram are the number of rice growers corresponding to the range of fertilizer application as a percentage of the total number of households.

图4 衢州市稻田氮磷钾肥料施用量分级

Fig. 4 Grading of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer application to rice field in Quzhou City

4 结论与政策建议

本研究以浙江省衢州市为例,探讨了当前该区域水稻生产及土壤肥力状况,得到如下结论:1)衢州市水稻种植户以51~60岁的中老年人为主,多数种植户教育水平在初中以下,种植户水稻种植面积普遍小于33.33 hm²,表明中小规模种植模式处于主导地位。2)衢州市水稻种植以杂交稻品种‘甬优’系列为主,其中优质稻种如‘甬优1540’等受到农户青睐;衢州地区主要种植“双季稻”,即“早稻-晚稻”模式,但由于种植经济效益和劳动力短缺导致部分

地区种植结构逐步转向“单季稻”种植。3)衢州市稻田土壤平均pH偏酸性(5.84),有机质和全氮含量较高,全磷含量偏低;土壤质量指数在各县级行政区间存在显著差异,以江山市最高(0.51),衢江区最低(0.41);SQI主要受有效磷、有机质和微生物量碳含量影响。4)稻田氮肥平均用量为237.55 kg/hm²,存在过量施氮现象;同类型肥料投入在不同稻作模式间存在显著差异,尤其是“中稻”显著高于“早稻”和“晚稻”肥料投入量。5)“双季稻”产量最高,达776.37 kg/667 m²,“中稻”次之,为465.02 kg/667 m²;“双季稻”生产成本和纯收益均为最高,

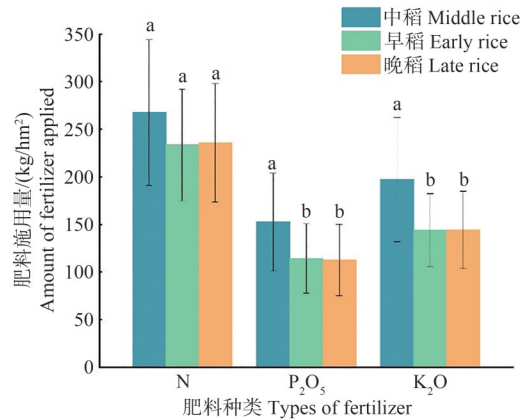


图5 衢州市中稻、早稻和晚稻的氮磷钾肥平均施用量
Fig.5 Average application of nitrogen, phosphorus and potash fertilizers to middle, early and late rice in Quzhou City

但“中稻”的产投比和利润率优于“双季稻”，经济效益较高，结合农村劳动力稀缺现状，“中稻”种植模式可能更受种植户青睐。

本研究针对衢州市水稻生产面临的品种选择分散性高、养分使用超标和劳动力资源短缺等问

题,提出以下政策建议:1)加强适宜衢州市种植的优质高产水稻品种的选育、引进和推广。重点关注综合抗性强、肥料利用率高的品种,集中推广3~5个主栽品种,提高稻米品质的整齐度,满足消费需求。2)加强土壤监测和平衡施肥。完善土壤养分测试服务体系,推行类似“一村一企一方案”的科学施肥模式,减少氮肥和磷肥用量,增施有机肥,提升肥料利用率;尤其要针对“单季稻”种植模式下的过量施肥问题,加大技术指导力度。3)加快高标准农田改造和新型农业经营主体培育。整合涉农项目资金,改善水利、道路等基础设施,提高农田质量;扶持家庭农场、农民合作社等,促进土地适度规模经营,推广先进适用的农业机械,提高生产效率。4)鼓励发展多种形式的产业融合,拓宽增收渠道^[34]。支持发展水稻种植与观光农业、创意农业、体验农业等相结合的新业态,增加附加值;引导劳动力向二三产业转移,缓解农业劳动力短缺问题,促进农民持续增收。

需要指出的是,本研究侧重于通过土壤理化性

表6 不同种植模式水稻生产成本收益信息

Table 6 Rice production cost and benefit information for different planting patterns

项目 Item	变量 Variable	早稻 Early rice	晚稻 Late rice	中稻 Middle rice	双季稻 Double-season rice
成本 Input	种子/(元/667 m ²)	30.00	50.00	30.00	80.00
	化肥/(元/667 m ²)	103.80	102.95	164.01	206.75
	农药/(元/667 m ²)	123.48	130.13	161.30	253.61
	机械作业/(元/667 m ²)	291.30	259.11	297.54	550.41
	人工成本/(元/667 m ²)	124.39	132.83	119.01	257.22
	土地租金/(元/667 m ²)	450.00	450.00	450.00	900.00
	其他农资/(元/667 m ²)	35.19	46.00	50.08	81.19
合计/(元/667 m ²)		1 158.16	1 171.02	1 271.94	2 329.18
收益 Output	收购单价/(元/50 kg)	138.70	134.00	142.00	272.70
	产量/(kg/667 m ²)	373.40	402.97	466.02	776.37
	国家补贴/(元/667 m ²)	370.00	200.00	200.00	570.00
	毛收入/(元/667 m ²)	1 405.81	1 279.95	1 523.48	2 685.76
	纯利润/(元/667 m ²)	247.66	108.92	251.55	356.58
	产投比/%	121.38	109.30	119.78	115.31
	利润率/%	21.38	9.30	19.78	15.31

质指标构建土壤质量指数,旨在研究当前区域的土壤肥力及水稻生产状况,尚未深入探究其与水稻产量、施肥用量等生产因素的内在联系,这一过程中可能的影响机制有待进一步结合区域田间试验分析。此外,本研究选取衢州市这一南方水稻主产区作为研究主体,具有一定区域代表性,而不同地区在自然条件和种植制度等方面差异明显,结论普适性还有待于通过扩大调研范围和开展对比分析等方式进一步验证。未来可综合考虑社会经济因素和政策变动等对区域水稻生产的影响,采取定量与定性相结合方法,深化土壤质量与水稻产量、种植户收益的关系研究,为区域农业高质量发展提供更加全面的理论支撑和实践指导。

参考文献 References

- [1] 杜海萌,王浩宇,荆培培,高平磊,杨洪建,戴其根. 江苏省有机水稻生产现状调研[J]. 中国稻米, 2022, 28(3): 84-87
Du H M, Wang H Y, Jing P P, Gao P L, Yang H J, Dai Q G. Investigation on the current situation of organic rice production in Jiangsu Province[J]. *China Rice*, 2022, 28(3): 84-87 (in Chinese)
- [2] 朱德峰,张玉屏,陈惠哲,向镜,张义凯. 中国水稻高产栽培技术创新与实践[J]. 中国农业科学, 2015, 48(17): 3404-3414
Zhu D F, Zhang Y P, Chen H Z, Xiang J, Zhang Y K. Innovation and practice of high-yield rice cultivation technology in China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48(17): 3404-3414 (in Chinese)
- [3] 陈浮,刘俊娜,常媛媛,张琦,于昊辰,张绍良. 中国耕地非粮化空间格局分异及驱动机制[J]. 中国土地科学, 2021, 35(9): 33-43
Chen F, Liu J N, Chang Y Y, Zhang Q, Yu H C, Zhang S L. Spatial pattern differentiation of non-grain cultivated land and its driving factors in China[J]. *China Land Science*, 2021, 35(9): 33-43 (in Chinese)
- [4] 徐艺桐,李英华,徐绍荣,黄楚娟. 全面推进乡村振兴 加快建设农业强国:中央农办主任、农业农村部部长唐仁健解读 2023 年中央一号文件[J]. 农民科技培训, 2023(4): 4-6
Xu Y T, Li Y H, Xu S R, Huang C J. Comprehensively promote rural revitalization and accelerate the construction of an agricultural power: Tang Renjian, director of the central agricultural office and minister of agriculture and rural affairs, interprets the 2023 central document No. 1 [J]. *Science and Technology Training for Farmers*, 2023(4): 4-6 (in Chinese)
- [5] 唐海鹰,郑琴,刘英,麻巧迎,梁效贵,黄国勤. 江西水稻主产区农户熟制选择行为分析:基于上饶市万年县农户调查的研究[J]. 中国稻米, 2021, 27(1): 62-67
Tang H Y, Zheng Q, Liu Y, Ma Q Y, Liang X G, Huang G Q. Analysis on farmers' choice behavior of multiple cropping system in main rice producing areas of Jiangxi Province: Based on the survey of farmers in Wannian County of Shangrao City[J]. *China Rice*, 2021, 27(1): 62-67 (in Chinese)
- [6] 孔令娟,杨森,潘广元. 安徽省水稻生产现状与产业发展思考[J]. 中国稻米, 2023, 29(1): 98-102
Kong L J, Yang S, Pan G Y. Rice production status and industrial development in Anhui Province[J]. *China Rice*, 2023, 29(1): 98-102 (in Chinese)
- [7] 林柏桂,钟文亮,黄继川. 英德市稻田土壤肥力调查研究[J]. 中国农学通报, 2023, 39(36): 89-96
Lin B G, Zhong W L, Huang J C. Investigation on soil fertility of paddy field in Yingde City[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2023, 39(36): 89-96 (in Chinese)
- [8] 毛伟,李文西,陈明,龚鑫鑫,高晖,张月平,褚宏远,赵海涛,柏彦超,钱晓晴. 近 30 年扬州市耕地土壤肥力变异特征及其驱动因素分析[J]. 植物营养与肥料学报, 2020, 26(11): 1998-2009
Mao W, Li W X, Chen M, Gong X X, Gao H, Zhang Y P, Chu H Y, Zhao H T, Bai Y C, Qian X Q. Evolution of soil fertility and the main driving factors in Yangzhou City during the past 30 years[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2020, 26(11): 1998-2009 (in Chinese)
- [9] 朱德峰,陈惠哲,章秀福,林贤青,张玉屏. 浙江水稻种植制的变化与种植区划[J]. 浙江农业学报, 2007, 19(6): 423-426
Zhu D F, Chen H Z, Zhang X F, Lin X Q, Zhang Y B. Evolvement of rice cropping system and planting zonation in Zhejiang Province[J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2007, 19(6): 423-426 (in Chinese)
- [10] 石艳平,许靖雯,罗玉博. 浙江某典型水稻产区土壤养分状况及土壤肥力质量评价[J]. 浙江农业科学, 2023, 64(11): 2807-2810
Shi Y P, Xu J W, Luo Y B. Evaluation of soil nutrient status and soil fertility quality in a typical rice producing area in Zhejiang[J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2023, 64(11): 2807-2810 (in Chinese)
- [11] 衢州市自然资源和规划局. 衢州市第三次全国国土调查主要数据公报[J]. 衢州日报, 2022: 002
Quzhou municipal natural resources and planning bureau. Bulletin of main data from the third national land survey in Quzhou City[J]. *Quzhou Daily*, 2022: 002 (in Chinese)
- [12] 衢州市统计局,国家统计局衢州调查队. 衢州统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2022
Quzhou Statistics Bureau, National Bureau of Statistics Quzhou Survey Team. *Quzhou Statistical Yearbook*[M]. Beijing: China Statistics Press 2022 (in Chinese)
- [13] 梅方权,吴宪章,姚长溪,李路平,王磊,陈秋云. 中国水稻种植区划[J]. 中国水稻科学, 1988, 2(3): 97-110
Mei F Q, Wu X Z, Yao C X, Li L P, Wang L, Chen Q Y. Rice cropping regionalization in China [J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 1988, 2(3): 97-110 (in Chinese)
- [14] 尹道明. 浙江“衢江红砂岩”地层上水稻土分布规律及改良措施的探讨[J]. 土壤通报, 1960(5): 36-39
Yi D M. Discussion on distribution law and improvement measures of paddy soil on “Qujiang red sandstone” stratum in Zhejiang Province[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 1960(5): 36-39 (in Chinese)
- [15] NY/T 395—2012 农田土壤环境质量监测技术规范[S]. 北京: 中国农业出版社, 2012
NY/T 395—2012 Procedural regulations regarding the enviroment quality monitoring of soil [S]. Beijing: China Agriculture Press, 2012 (in Chinese)
- [16] 吴泽平,冯耀珠,刘庆宁,吴娟,陈春桦. 海口市琼山区水稻种植现状分析[J]. 热带农业工程, 2023, 47(4): 55-59
Wu Z P, Feng Y Z, Liu Q N, Wu J, Chen C H. Investigation and consideration on current situation of major cultivated varieties of rice in Qionghshan District of Haikou City [J]. *Tropical Agricultural Engineering*, 2023, 47(4): 55-59 (in Chinese)
- [17] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000
Bao S D. *Soil and Agricultural Chemistry Analysis* [M]. 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2000 (in Chinese)
- [18] 林先贵. 土壤微生物研究原理与方法[M]. 北京: 高等教育出版社, 2010
Lin X G. *Principles and Methods of Soil Microbiology Research* [M]. Beijing: Higher Education Press, 2010 (in Chinese)
- [19] GB/T 33469—2016 耕地质量等级[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016
GB/T 33469—2016 Cultivated land quality grade[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016 (in Chinese)
- [20] Bengraïne K, Marhaba T F. Using principal component analysis to monitor spatial and temporal changes in water quality [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2003, 100(1/3), 179-195
- [21] 骆东奇,白洁,谢德体. 论土壤肥力评价指标和方法[J]. 土壤与环境, 2002, 11(2): 202-205
Luo D Q, Bai J, Xie D T. Research on evaluation norm and method of soil fertility[J]. *Soil and Environmental Sciences*, 2002, 11(2): 202-205 (in Chinese)

- (in Chinese)
- [22] 王子龙, 付强, 姜秋香. 土壤肥力综合评价研究进展[J]. 农业系统科学与综合研究, 2007, 23(1): 15-18
Wang Z L, Fu Q, Jiang Q X. Research progress in the integrated evaluation of soil fertility [J]. *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture*, 2007, 23(1): 15-18 (in Chinese)
- [23] Qi Y B, Darilek J L, Huang B A, Zhao Y C, Sun W X, Gu Z Q. Evaluating soil quality indices in an agricultural region of Jiangsu Province, China[J]. *Geoderma*, 2009, 149(3/4): 325-334
- [24] 李俊杰, 纪龙, 梅冬, 李建平. 我国水稻区不同种植模式的效益比较及经营问题: 以湖南省为例[J]. 中国稻米, 2023, 29(1): 13-18
Li J J, Ji L, Mei D, Li J P. Comparative benefits and management problems of different cropping patterns in indica rice areas in China: Hunan province as an example[J]. *China Rice*, 2023, 29(1): 13-18 (in Chinese)
- [25] 蔡巨广, 廖荣周, 许鸿江, 胡荣华, 张以华. 将乐县水稻产业现状调研报告[J]. 福建稻麦科技, 2019, 37(4): 57-60
Cai J G, Liao R Z, Xu H J, Hu R H, Zhang Y H. Research report on the rice industry in Jiangle County [J]. *Fujian Science and Technology of Rice and Wheat*, 2019, 37(4): 57-60 (in Chinese)
- [26] 徐开坤, 朱双, 张前林, 肖光莉, 文双全, 姚旭松. 泸县稻田土壤肥力综合评价及对农田产量的影响分析[J]. 南方农业, 2023, 17(19): 76-81
Xu K K, Zhu S, Zhang Q L, Xiao G L, Wen S Q, Yao X S. Comprehensive evaluation of soil fertility of rice field and analysis of its influence on farmland yield in Luxian County [J]. *South China Agriculture*, 2023, 17(19): 76-81 (in Chinese)
- [27] 孙浩燕, 李小坤, 任涛, 丛日环. 长江中下游水稻生产现状调查分析与展望: 以湖北省为例[J]. 中国稻米, 2015, 21(3): 24-27
Sun H Y, Li X K, Ren T, Cong R H. Status investigation and outlook of rice production: A case of Hubei Province[J]. *China Rice*, 2015, 21(3): 24-27 (in Chinese)
- [28] 巨晓棠. 理论施氮量的改进及验证: 兼论确定作物氮肥推荐量的方法[J]. 土壤学报, 2015, 52(2): 249-261
Ju X T. Improvement and validation of theoretical n rate(tnr): Discussing the methods for n fertilizer recommendation[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2015, 52(2): 249-261 (in Chinese)
- [29] 吴良泉, 武良, 崔振岭, 陈新平, 张福锁. 中国水稻区域氮磷钾肥推荐用量及肥料配方研究[J]. 中国农业大学学报, 2016, 21(9): 1-13
Wu L Q, Wu L, Cui Z L, Chen X P, Zhang F S. Studies on recommended nitrogen, phosphorus and potassium application rates and special fertilizer formulae for different rice production regions in China [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2016, 21(9): 1-13 (in Chinese)
- [30] 张福锁, 陈新平, 陈清. 中国主要作物施肥指南[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2009
Zhang F S, Chen X P, Chen Q. *Fertilizer Guide for Main Crops in China* [M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2009 (in Chinese)
- [31] 全国农业技术推广服务中心, 农业农村部科学施肥专家指导组. 2022年水稻科学施肥指导意见[EB/OL]. [2022-03-29]. https://www.moa.gov.cn/xw/zxfb/202203/t20220329_6394524.htm
The National Agro-Tech Extension & Service Center, Scientific Fertilization Expert Guidance Group of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs. Guidance on Scientific Fertilization of Rice in 2022[EB/OL]. [2022-03-29]. https://www.moa.gov.cn/xw/zxfb/202203/t20220329_6394524.htm (in Chinese)
- [32] DB33/T 2521—2022 水稻、小麦、油菜区域施肥用量要求[S]. 浙江: 浙江省市场监督管理局, 2022
DB33/T 2521—2022 Fertilization requirement of rice, wheat and rape in different regions[S]. Zhejiang: Zhejiang Provincial Administration for Market Regulation, 2022 (in Chinese)
- [33] 周洲. 农户水稻种植的现状与问题分析: 基于安徽省沿淮三县的典型调查[J]. 作物研究, 2022, 36(1): 76-79
Zhou Z. Analysis on the present situation and problems of farmers' rice planting: Based on the typical survey of three counties along Huaihe River in Anhui Province[J]. *Crop Research*, 2022, 36(1): 76-79 (in Chinese)
- [34] 龚燕玲, 张应良. “趋粮化”抑或“非粮化”: 高标准农田建设的政策效应[J]. 江西财经大学学报, 2023(6): 68-83
Gong Y L, Zhang Y L. "Grain-oriented" or "non-grain-oriented": The policy effect of high-standard farmland construction [J]. *Journal of Jiangxi University of Finance and Economics*, 2023(6): 68-83 (in Chinese)

责任编辑: 董金波



第一作者简介: 张鑫, 硕士, 中级农艺师, 衢州市美丽乡村建设中心主任。主要从事土壤肥料和农村能源等研究。在省级刊物上发表论文19篇, 出版专著3部。参与并主持完成市级科技项目3项, 获省农业丰收奖1项和厅科技进步奖2项。



通讯作者简介: 田静, 中国农业大学资源与环境学院副教授, 博士生导师。主要研究领域为土壤碳氮循环过程和土壤健康等。以第一作者或通讯作者在 *Nature Communications*、*Global Change Biology*、*Soil Biology and Biochemistry* 等期刊上发表文章。参编专著4部。主持国家自然科学基金、国家重点研发项目子课题、农业农村部重点攻关项目子课题等项目10项。现任中国土壤学会土壤健康工作组委员, 植物营养与肥料学会养分循环专业委员会委员, 国际期刊 *European Journal of Soil Science*、*Land Degradation and Development* 副编辑等。