

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2023.07.012

张岚, 秦川, 谢德体, 等. 垄作免耕对紫色水稻土肥力演变的影响 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2023, 45(7): 138-146.

垄作免耕对紫色水稻土肥力演变的影响

张岚¹, 秦川¹, 谢德体¹, 石秀丽², 蒋先军¹

1. 西南大学 资源环境学院, 重庆 400715; 2. 西南大学 园艺园林学院, 重庆 400715

摘要: 探讨长期垄作免耕对紫色水稻土肥力的年际演变影响, 为稻田耕作、培肥管理提供科学参考及建议. 依托重庆市北碚区西南大学紫色土肥力长效长期定位监测基地, 选取垄作免耕(Ridge and No-Tillage, RNT)、常规耕作(Conventional Tillage, CT)和冬水田(Flooded Paddy Field, FPF)3种耕作管理模式, 统计分析了1990—2018年的土壤pH值以及土壤有机质、全量氮磷钾、速效氮磷钾的质量分数, 采用改进后的内梅罗指数法对长期不同耕作措施管理的水稻土土壤综合肥力指数进行计算. 结果表明, 长期垄作免耕能够有效提高稻田0~20 cm表层土壤的有机质、全氮、碱解氮、全磷、有效磷质量分数, 与1990年相比, 到2018年, 其增幅分别为42.2%, 37.1%, 30.0%, 122.5%, 352.0%. 不同耕作措施下, 土壤中全钾和速效钾质量分数随时间迁移并无明显变化. 垄作免耕稻田土壤综合肥力指数平均值最高, 为0.66, 分别比常规耕作和冬水田高0.09和0.18. 长期垄作免耕能够有效提高紫色水稻土养分质量分数, 提升稻田土壤综合肥力.

关键词: 耕作方式; 垄作免耕; 土壤肥力

中图分类号: S158 文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2023)07-0138-09

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Effects of Ridge and No-Tillage on Fertility Change of Purple Paddy Soil

ZHANG Lan¹, QIN Chuan¹, XIE Deti¹,
SHI Xiuli², JIANG Xianjun¹

1. College of Resources and Environmental, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. College of Horticulture and Landscape, Southwest University, Chongqing 400715, China

Abstract: Cultivation is the most important anthropogenic activity in agriculture, which affects the soil quality. This study aimed to quantify the long-term effects of different tillage regimes on soil fertility. Based on a long-term field experiment, three tillage regimes including ridge and no-tillage (RNT), conventional tillage (CT) and flooded paddy field (FPF) were selected, and a total of eight indexes, including soil

收稿日期: 2022-06-22

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0300901).

作者简介: 张岚, 硕士研究生, 主要从事土壤肥力与生态研究.

通信作者: 蒋先军, 教授, 博士研究生导师.

pH, organic matter, total nitrogen, total phosphorus, total potassium, alkaline nitrogen, available phosphorus and available potassium were measured during 1990 to 2018. The integrated fertility index was calculated by the improved Nemer index method. The results showed that long-term ridge and no-tillage significantly increased the contents of organic matter, total nitrogen, available nitrogen, total phosphorus and available phosphorus in the 0–20 cm depth of soil layer, which increased by 42.2%, 37.1%, 30.0%, 122.5% and 352.0%, respectively, by 2018 compared with 1990 ($p < 0.05$). The potassium content did not change significantly. The average IFI value of the RNT (0.66) was significantly higher than those of the CT (0.57) and FPF (0.48). Long-term ridge and no-tillage significantly improved soil fertility, mainly increased soil organic matter, nitrogen, phosphorus contents, and effectively maintained potassium contents. These results provide a scientific basis for maintaining and improving soil fertility of paddy soil.

Key words: tillage method; ridge and no-tillage; soil fertility

土壤高强度的集约化利用虽能保障粮食产量, 但会破坏耕地土层, 使其变薄, 造成土壤养分流失, 土壤肥力不断下降^[1-2]. 而保护性耕作措施有望解决或延缓土壤肥力下降的问题. 传统耕作措施会极大扰乱土壤表层, 加剧土壤侵蚀, 降低土壤养分含量. 少耕、免耕等保护性耕作措施被认为有利于农业可持续发展. 张庆等^[3]的研究发现, 长期免耕并有机肥培肥在一定程度上可以提高 0~40 cm 红壤坡耕地有机质、全氮、碱解氮质量分数; 罗玉琼等^[4]的研究发现, 长期免耕和稻草还田能提高水田耕层土壤的肥力; 成臣等^[5]研究发现, 秸秆还田条件下, 采用长期旋耕的方式能够进一步提高 0~20 cm 水田土壤肥力. 中国南方稻区多以冬水田为主^[6], 由于长期处于淹水状态, 冬水田普遍存在土壤结构差、养分转化率和利用率低的问题. 我国著名土壤学家侯光炯院士在反复研究和实践的基础上提出了“垄作免耕”技术^[7], 垄作将淹水稻田平面地表转变成垄沟相间的半旱模式, 创造了土壤微环境, 改善了根际环境的通气性, 而免耕减少了土壤扰动, 能有效促进土壤团聚, 增强了有机物质的物理保护^[8-9]. 稻田垄作免耕对于解决深、冷、烂、毒田水稻生长, 促进土壤结构稳定, 提升土壤肥力有积极作用. 国内外关于免耕措施下稻田生态环境和土壤内部物理化学性质变化开展了较深入的研究^[10], 但是以往的研究结果多集中于短期免耕试验且多为旱地系统, 关于长期耕作措施对水田土壤养分和综合肥力变化规律的研究较少. 相较于常规耕作, 垄作免耕对紫色水稻土土壤肥力要素以及综合肥力的长期影响规律作用如何尚不明晰. 基于上述需求, 本研究依托西南大学紫色土肥力肥效长期定位监测基地, 选取垄作免耕(Ridge and No-Tillage, RNT)、常规耕作(Conventional Tillage, CT)和冬水田(Flooded Paddy Field, FPF)3种耕作措施, 统计分析了1990–2018年的土壤养分数据(土壤pH值, 有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、有效磷、速效钾质量分数), 采用改进后的内梅罗指数法对长期试验下不同耕作措施的土壤肥力指数进行计算, 探讨长期不同耕作管理措施对紫色水稻土养分变化规律及土壤综合肥力演变规律的影响, 从而对该地区的土壤耕作培肥管理进行综合评估.

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于重庆市北碚区西南大学紫色土肥力肥效长期定位监测基地(106°26'E, 30°26'N), 耕作施肥处理的起始时间为1990年. 该区域年平均气温18.3℃, 年平均降雨量1107.4mm, 日照时数1276.6h. 土壤类型为侏罗纪沙溪庙组紫色砂泥岩发育而成的中性紫色土. 土壤基本理化性质如表1所示.

表1 试验地土壤的基本理化性质

土壤深度/ cm	pH 值	有机质/ (g · kg ⁻¹)	全氮/ (g · kg ⁻¹)	全磷/ (g · kg ⁻¹)	全钾/ (g · kg ⁻¹)	碱解氮/ (mg · kg ⁻¹)	有效磷/ (mg · kg ⁻¹)	速效钾/ (mg · kg ⁻¹)
0~20	7.10	23.10	1.74	0.75	22.70	120.00	7.50	71.10

本试验设计了 3 种耕作处理: ① 垄作免耕(RNT); ② 常规耕作(CT); ③ 冬水田(FPF). 每个试验区面积为 20 m^2 , 每种耕作措施设 4 个小区随机排列, 共 12 个小区. 具体耕作措施及施肥处理方法如表 2 所示.

表 2 耕作施肥处理的具体方式

耕作处理	具体方式	施肥模式
垄作免耕(RNT)	拉线作垄, 规格为: 顶部宽 25 cm, 沟深 35 cm, 宽 30 cm. 不翻不耕. 水稻收获后排出一部分垄沟水分, 种植油菜. 第 2 年油菜收获后将残茬埋在沟底, 灌水种植水稻.	所有试验小区的施肥量均为过磷酸钙 500.3 kg/hm^2 , 尿素 273.1 kg/hm^2 , 氯化钾 150.1 kg/hm^2 . 每年水稻和油菜的施肥方式都为过磷酸钙一次性施用作底肥, 尿素用量的 $2/3$ 作底肥, $1/3$ 作追肥, 氯化钾用量的 $1/2$ 作底肥, $1/2$ 作追肥.
常规耕作(CT)	水稻-油菜轮作制度, 淹水深度约 5 cm, 平作种植水稻, 水稻收获后排干积水, 翻耕种植油菜.	
冬水田(FPF)	只种植一季水稻, 收获后翻耕灌水休闲.	

1.2 采样与分析

于 2018 年 8 月底水稻收获后, 采用土钻按照“5 点法”分别在 3 种耕作措施的每个试验小区采集 0~20 cm 表层土壤, 垄作免耕小区的采样点选择在垄埂上. 采集到的土壤装入自封袋带回试验室风干后混合均匀, 制样备用. 采用常规方法测定土壤 pH 值, 全量氮磷钾、速效氮磷钾、土壤有机质质量分数^[11].

1.3 土壤综合肥力指数的计算

采用改进后的内梅罗指数法^[12]来计算不同耕作措施下的紫色水稻土综合肥力, 养分指标的属性分级标准值来自全国第二次土壤普查(表 3).

表 3 土壤养分指标分级标准

指标	等级		
	x_a	x_b	x_c
pH 值	4.50	6.50	8.50
有机质/(g · kg ⁻¹)	10.00	20.00	30.00
全氮/(g · kg ⁻¹)	0.75	1.50	2.00
全磷/(g · kg ⁻¹)	0.40	0.60	1.00
全钾/(g · kg ⁻¹)	5.00	20.00	25.00
碱解氮/(mg · kg ⁻¹)	60.00	120.00	180.00
有效磷/(mg · kg ⁻¹)	3.00	10.00	20.00
速效钾/(mg · kg ⁻¹)	40.00	100.00	150.00

土壤分肥力系数计算公式为:

$$IFI_i = \begin{cases} x/x_a & x \leq x_a \\ 1 + (x - x_a)/(x_b - x_a) & x_a < x \leq x_b \\ 2 + (x - x_b)/(x_c - x_b) & x_b < x \leq x_c \\ 3 & x > x_c \end{cases} \quad (1)$$

式中: IFI_i 为土壤单一指标养分分肥力系数; x 为养分测定值; x_a, x_b, x_c 为分级标准值.

土壤综合肥力指数(IFI)计算公式为:

$$IFI = \sqrt{\frac{\text{ave}(IFI_i)^2 + \min(IFI_i)^2}{2}} \times \left(\frac{n-1}{n}\right) \quad (2)$$

式中: $\text{ave}(IFI_i)$ 为每个肥力系数均值; $\min(IFI_i)$ 为每个肥力系数最小值; n 为指标个数.

1.4 数据处理

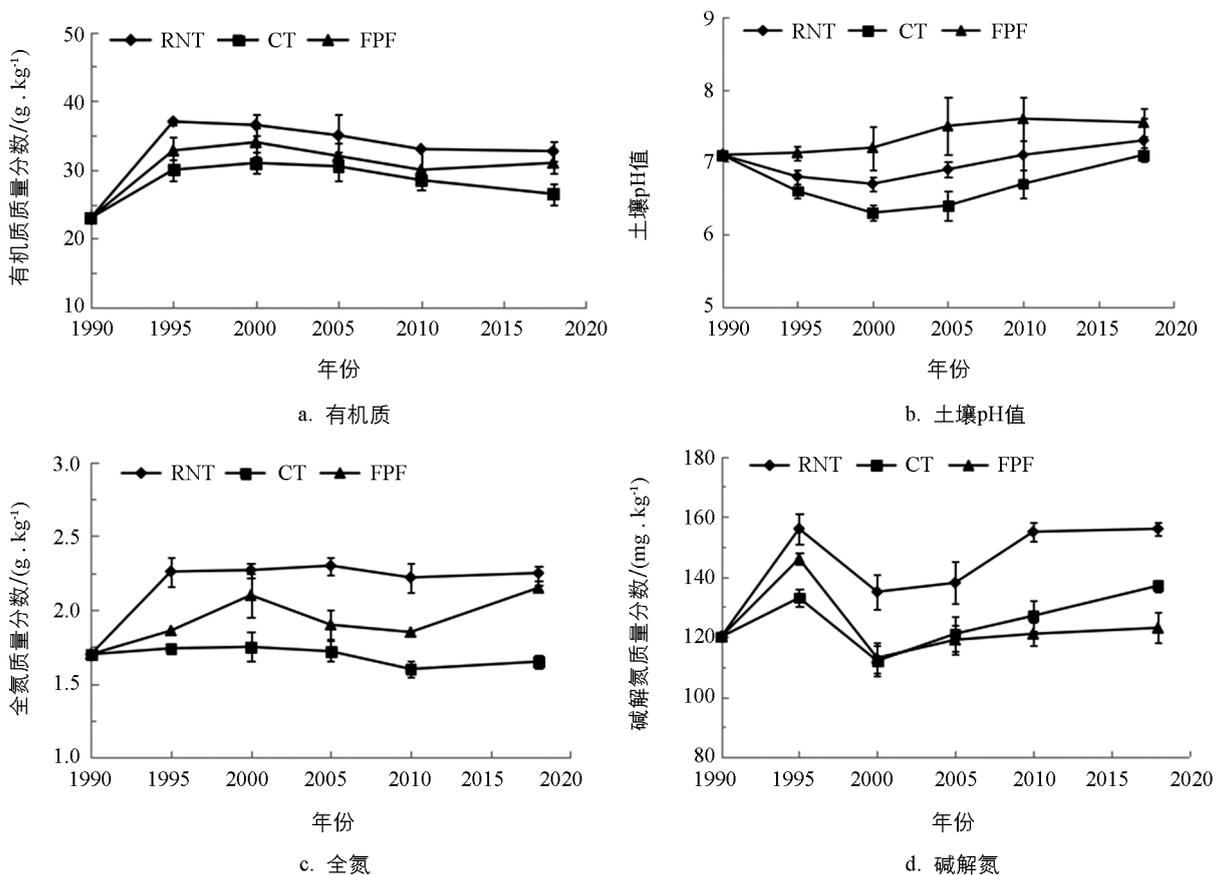
数据的处理在 Microsoft Excel 2013 中进行, 使用 SPSS 19.0 软件对数据进行相关性分析、方差分析,

并结合 Origin 8.6 作图.

2 结果与分析

2.1 土壤有机质、pH 值和氮素的年际变化特征

长期耕作模式的不同影响土壤有机质质量分数(图 1a). 1990 年至 2018 年 3 种耕作措施下稻田土壤有机质质量分数变化规律基本一致, 均是 1990 年至 2000 年逐年增加, 之后的 18 年逐渐减小至趋于稳定. 垄作免耕措施下稻田土壤的有机质质量分数在各个年份均为最高, 其平均值为 32.86 g/kg, 分别比冬水田和常规耕作处理下有机质质量分数的平均值高 2.46 g/kg 和 4.09 g/kg. 与 1990 年相比, 2018 年土壤有机质质量分数增幅为 42.2%, 说明长期垄作免耕能够有效地提高稻田土壤有机质质量分数. 3 种耕作措施下稻田土壤 pH 值变化均是先减小, 到 2000 年后逐渐增大, 2010 年后趋于稳定(图 1b), 垄作免耕措施下稻田土壤 pH 值范围为 6.80~7.46, 其平均值为 7.01, 冬水田和常规耕作措施下稻田土壤 pH 平均值分别为 7.37 和 6.72.



RNT 代表垄作免耕, CT 代表常规耕作, FPF 代表冬水田.

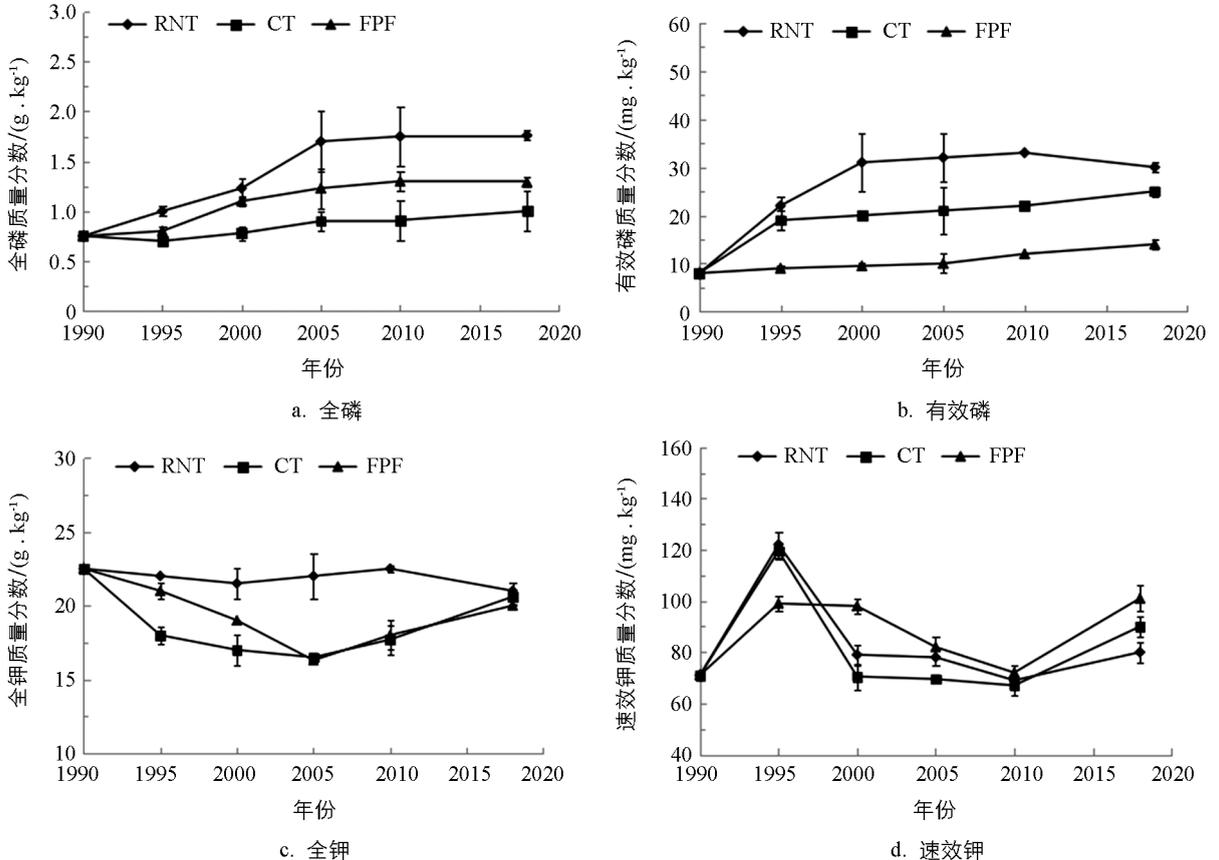
图 1 不同耕作措施稻田土壤有机质(a)、pH 值(b)、全氮(c)和碱解氮(d)年际变化特征

图 1c 为不同耕作措施下稻田土壤全氮质量分数的年际演变规律. 由图 1c 可知, 经过 29 年的长期耕作, 垄作免耕措施下稻田土壤全氮质量分数平均值(2.20 g/kg)高于冬水田(平均值为 1.94 g/kg)和常规耕作(平均值为 1.71 g/kg). 3 种耕作措施下全氮质量分数变化趋势均表现为 1990 年至 2000 年逐年增加, 从 2000 年开始, 稻田土壤全氮质量分数逐渐趋于稳定. 1990—2018 年, 垄作免耕措施下稻田土壤全氮质量分数由 1.70 g/kg 增加至 2.33 g/kg, 增加了 37.1%; 常规耕作措施下稻田土壤全氮质量分数由 1.70 g/kg 增加至 1.82 g/kg, 增加了 7.1%; 冬水田措施下稻田土壤全氮质量分数由 1.70 g/kg 增加至 2.10 g/kg, 增加了 23.5%. 3 种耕作措施下稻田土壤碱解氮质量分数年际变化趋势基本一致(图 1d), 在 1990 年至 2000 年

均是先增大后减小,之后的 18 年逐年增加并逐渐趋于稳定. 垄作免耕措施下稻田土壤碱解氮质量分数平均值为 143.35 mg/kg, 分别比冬水田和常规耕作高 17.46 mg/kg 和 16.63 mg/kg.

2.2 土壤磷素和钾素质量分数的变化特征

图 2a 为不同耕作措施下稻田土壤全磷质量分数的年际变化特征. 总体来看, 3 种耕作措施下稻田土壤全磷质量分数增加值从大到小依次为: 垄作免耕、冬水田、常规耕作. 垄作免耕措施下, 稻田土壤全磷质量分数由 1990 年的 0.80 g/kg 增加至 2010 年的 1.78 g/kg, 增幅最大, 为 122.5%; 冬水田措施下, 稻田土壤全磷质量分数由 1990 年的 0.80 g/kg 增加至 2010 年的 1.42 g/kg, 增幅为 77.5%; 常规耕作措施下稻田土壤全磷质量分数增幅最小, 仅为 31.3%. 垄作免耕措施下稻田土壤全磷质量分数平均值最高, 为 1.38 g/kg, 常规耕作下全磷质量分数平均值最低, 仅为 0.90 g/kg.



RNT 代表垄作免耕, CT 代表常规耕作, FPF 代表冬水田.

图 2 不同耕作措施下稻田土壤全磷(a)、有效磷(b)、全钾(c)和速效钾(d)质量分数年际变化特征

3 种耕作措施下稻田土壤有效磷质量分数年际变化如图 2b 所示, 常规耕作措施下的有效磷质量分数范围为 7.52~26.40 mg/kg, 平均值为 19.87 mg/kg; 垄作免耕措施下稻田土壤的有效磷质量分数范围为 7.51~33.90 mg/kg, 平均值为 26.61 mg/kg; 冬水田措施下的有效磷质量分数范围为 7.55~15.30 mg/kg, 平均值为 10.43 mg/kg. 垄作免耕措施下的有效磷质量分数平均值分别比冬水田和常规耕作高 16.18 mg/kg 和 6.75 mg/kg. 经过 29 年的垄作免耕措施显著提高了稻田土壤中的有效磷质量分数, 其增幅达到 352.0%.

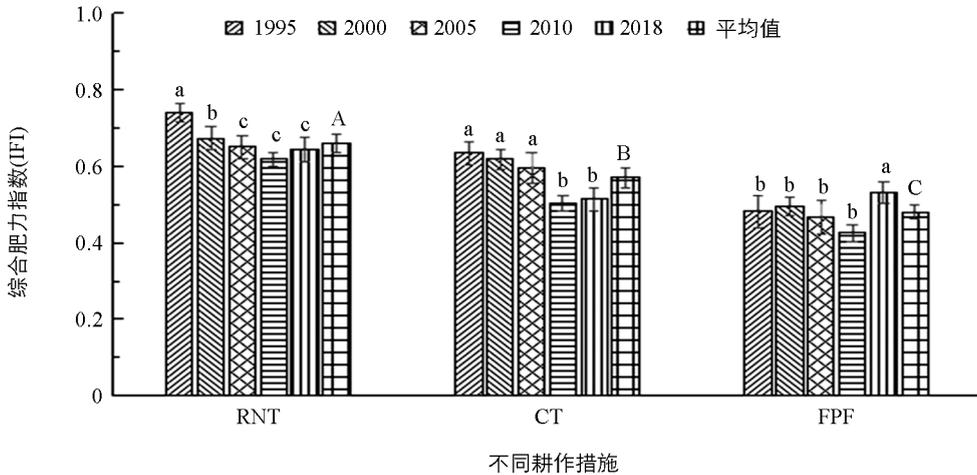
不同耕作措施下稻田土壤全钾质量分数的年际变化如图 2c 所示. 1990—2018 年, 垄作免耕措施下稻田土壤全钾质量分数范围为 20.70~22.70 g/kg, 平均值为 21.43 g/kg; 冬水田和常规耕作措施下稻田土壤全钾质量分数平均值分别为 19.72 g/kg 和 19.25 g/kg. 总体来看, 29 年间垄作免耕措施下稻田土壤全钾质量分数基本没有变化, 冬水田和常规耕作稻田土壤全钾质量分数均在 2005 年减小至最低值

后逐渐增加. 垄作免耕措施下稻田土壤全钾质量分数平均值分别比常规耕作和冬水田措施高 2.18 g/kg 和 1.71 g/kg. 3 种耕作均能够有效保持稻田土壤中的全钾质量分数.

垄作免耕措施下稻田土壤速效钾质量分数(图 2d)范围为 71.10~123.60 mg/kg, 平均值为 82.78 mg/kg; 常规耕作措施下的速效钾质量分数范围为 71.30~118.70 mg/kg, 平均值为 81.17 mg/kg; 冬水田措施下速效钾质量分数范围为 71.20~104.30 mg/kg, 平均值为 87.50 mg/kg. 冬水田措施下稻田土壤速效钾质量分数平均值分别比垄作免耕和常规耕作高 4.72 mg/kg 和 6.33 mg/kg.

2.3 不同耕作措施下稻田土壤综合肥力指数的变化

从 1995—2018 年的稻田土壤综合肥力指数的变化趋势看(图 3), 垄作免耕措施下稻田土壤综合肥力指数平均值为 0.66, 其次是常规耕作, 平均值为 0.57, 冬水田的稻田土壤综合肥力指数最低, 平均值仅为 0.48. 整体来看, 垄作免耕措施下稻田土壤肥力指数显著高于常规耕作和冬水田措施($p < 0.05$), 证明相对于传统的耕作措施, 长期垄作免耕能够显著提高稻田土壤综合肥力.



RNT 代表垄作免耕, CT 代表常规耕作, FPF 代表冬水田. 不同小写字母表示处理不同年份间差异有统计学意义($p < 0.05$), 不同大写字母表示不同处理间差异有统计学意义($p < 0.05$).

图 3 长期不同耕作措施下土壤综合肥力指数和年均值

利用 SPSS 18.0 对稻田土壤综合肥力指数与土壤基本性质进行相关性分析(表 4), 结果表明, 土壤综合肥力指数与土壤全钾和有效磷质量分数有极显著的正相关性($p < 0.01$), 相关系数分别为 0.649 和 0.712. 土壤综合肥力指数与全氮、碱解氮和有机质质量分数显著正相关($p < 0.05$), 而与土壤 pH 值呈显著负相关($p < 0.05$).

表 4 土壤综合肥力指数与土壤养分指标的相关性分析

指标	肥力指数	pH 值	有机质	全氮	全磷	全钾	碱解氮	有效磷	速效钾
pH 值	-0.526*	1							
有机质	0.622*	-0.126	1						
全氮	0.562*	0.248	0.842**	1					
全磷	0.104	0.567*	0.180	0.623*	1				
全钾	0.649**	-0.025	0.612*	0.724**	0.472	1			
碱解氮	0.520*	0.110	0.293	0.462	0.427	0.664**	1		
有效磷	0.712**	-0.363	0.222	0.390	0.457	0.648**	0.530*	1	
速效钾	0.185	0.119	0.175	0.112	-0.368	0.090	0.183	-0.368	1

注: * 代表差异有统计学意义($p < 0.05$); ** 代表差异极有统计学意义($p < 0.01$).

3 讨论

3.1 耕作方式对水稻土养分质量分数演变规律的影响

土壤养分是土壤供肥能力的直接反映,稻田生态系统中土壤肥力演变的驱动力是养分循环.经过 29 年长期定位试验,发现垄作免耕能显著提高土壤有机质质量分数,其有机质质量分数平均值由试验初期的 23.10 g/kg 提升到 32.86 g/kg,提升的幅度为 42.3%,这与前人的研究结果一致^[13-14].免耕减少了对土壤层的扰动,保持了表层土壤微生物的活性,有利于在大团聚体内部形成更多微粒状有机质,从而提高土壤团聚体结构稳定性^[15],使表层土壤有机质累积.而垄作能改善土壤的水肥气热条件,在一定程度上提高并保持土壤温度,土壤通气性增强,土壤有机质累积^[16].有研究表明^[17],连续 10 年的免耕和秸秆还田措施能有效提高稻田土壤有机质质量分数.而常规耕作措施下干湿交替作用显著,有机质矿化作用强,导致有机质增幅小.冬水田属于传统粗放耕作模式,具有一定的养地作用,由于长期淹水致使土壤通气状况差、温度低、有机质矿化分解慢,也会产生有机质的积累现象.

土壤全氮作为供应作物生长的有效氮库,是评价土壤氮素肥力的重要指标.有国外研究表明^[18],与传统耕作相比,免耕处理可以提升 0~30 cm 土层的全氮质量分数.本试验结果中,垄作免耕处理水稻土全氮质量分数平均值高于冬水田与常规耕作.土壤中的全氮来源除施入氮肥外,主要是植物等有机残体的分解,免耕使大量有机质分解转化到土壤中,加速了微生物对秸秆等物质的腐化率,有利于全氮的积累.水稻土的氮肥利用率远低于旱地,通常只有旱地的 50.0%^[19],垄作免耕实现了水稻的“半旱式”耕作,改变了水稻土的氧化还原状况,从而直接对土壤中氮素的矿化、硝化和反硝化作用等氮素循环过程产生剧烈的影响^[20].垄作免耕还影响稻田土壤水稳性团聚体的数量,促进水稳性团聚体形成,每年均有植物秸秆还田,提高了有机质和全氮质量分数.土壤碱解氮的质量分数可以用来衡量土壤供氮强度,有研究发现^[21],免耕措施配合秸秆还田可以有效提高稻田表层土壤的碱解氮质量分数.本研究中,3 种耕作措施下稻田土壤碱解氮质量分数年际变化规律基本一致,垄作免耕土壤碱解氮质量分数平均值分别比常规耕作和冬水田高 16.63 mg/kg 和 17.46 mg/kg,原因可能是免耕最大限度保护了土壤结构,土壤通气性良好,有利于碱解氮的累积.

有效磷是作物生长发育的重要养分,在一定程度上可以衡量耕地质量高低,本试验中,经过 29 年的垄作免耕显著提高了稻田土壤中全磷和有效磷的质量分数,有效磷的增幅达到了 352.0%,可能是由于免耕可以保持土壤结构良好,提高其蓄水保墒力,提高营养物质的腐解效率,从而提高了根际土壤有效磷的质量分数.

经过 29 年耕作试验发现,垄作免耕能够有效维持稻田土壤中的全钾质量分数,常规耕作和冬水田处理对土壤全钾质量分数没有明显影响.土壤速效钾是较易变动的养分指标,在一项非洲北部半干旱区的研究中发现^[22],免耕处理可以显著提高土壤中钾元素的质量分数,推测是由于免耕处理可以提高土壤有机质质量分数从而有效吸附钾元素,避免其流失.本试验中 3 种耕作措施下土壤速效钾质量分数的差异并不大,钾离子为正一价阳离子,能够被土壤牢固地吸附,不易被移动,土壤中钾元素的淋洗损失极少发生,此外,紫色土能够提供稳定且持久的供钾能力^[23].本研究结果显示,3 种耕作措施下稻田土壤中碱解氮和速效钾质量分数呈现波动变化,原因可能是试验前期(1990—1995 年)与后期施肥管理差异所致,在前期有秸秆还田配施厩肥(猪粪)施入稻田土壤中,导致土壤养分质量分数增加,后期由于没有有机肥的施入,土壤中的碱解氮和速效钾质量分数又开始降低.综上,经过 29 年的长期耕作,垄作免耕提高了稻田土壤有机质、全氮、全磷、碱解氮、有效磷的质量分数,并且能有效保持稻田土壤中的全钾质量分数.

3.2 耕作方式对土壤综合肥力演变规律的影响

土壤综合肥力指标可以有效避免由于主观随意性造成的测定结果不科学^[24-25],对大量信息进行系统

化处理,可以更好地反映土壤肥力高低. 经过长期耕作定位试验,不同耕作措施下稻田土壤综合肥力指数从大到小依次为: 垄作免耕、常规耕作、冬水田,3种措施下的土壤综合肥力指数平均值分别为0.66, 0.57, 0.48. 常规耕作和冬水田措施由于长期淹水,会引发稻田病虫害问题,造成水稻产量和质量下降,还会降低土壤的氮肥利用率,引发土壤质量退化、肥力下降等一系列问题^[6]. 而垄作免耕措施改变了土壤的水、肥、气、热条件^[7],在改变土壤物理结构的同时也改变了土壤内部化学和生物环境,使土壤生态系统的运转更加平衡. 当平面地表形态转变为起伏的垄沟相间模式后,有效增厚了土壤耕作层,扩大了植物根系活动层,使根系远离冷浸层. 垄作免耕措施下有机质氧化速率和微生物活性增加,提高了植物根系对养分的吸收利用率,促进水稻分蘖和有效穗数的生长,在有效维持土壤肥力的同时为作物增产提供了有利条件. 本研究通过土壤综合肥力指数与各土壤养分指标之间的相关系数分析发现,稻田土壤中全钾和有效磷质量分数与土壤综合肥力相关性极有统计学意义($p < 0.01$),是表征稻田土壤肥力的重要养分指标.

4 结论

通过研究稻田土壤养分年际变化特征,经过长期耕作定位试验,发现不同耕作措施都能在一定程度上提高紫色水稻土土壤的养分质量分数,但钾素质量分数的变化并不明显. 垄作免耕能够显著提高稻田土壤有机质、全氮、全磷、碱解氮、有效磷的质量分数($p < 0.05$). 不同耕作措施下稻田土壤综合肥力指数从大到小依次为: 垄作免耕、常规耕作、冬水田. 垄作免耕措施下稻田土壤综合肥力指数平均值为0.66,长期垄作免耕能够有效提高稻田土壤综合肥力.

参考文献:

- [1] ZHANG H, NIU L A, HU K L, et al. Long-Term Effects of Nitrogen and Phosphorus Fertilization on Soil Aggregate Stability and Aggregate-Associated Carbon and Nitrogen in the North China Plain [J]. Soil Science Society of America Journal, 2021, 85(3): 732-745.
- [2] OGLE S M, ALSAKER C, BALDOCK J, et al. Climate and Soil Characteristics Determine where No-till Management can Store Carbon in Soils and Mitigate Greenhouse Gas Emissions [J]. Scientific Reports, 2019, 9(1): 11665.
- [3] 张庆,何翔,杨佩文,等. 红壤坡耕地免耕有机肥培肥对土壤质量和作物产量的影响 [J]. 西南农业学报, 2019, 32(11): 2646-2651.
- [4] 罗玉琼,严博,吴可,等. 免耕和稻草还田对稻田土壤肥力和水稻产量的影响 [J]. 作物杂志, 2020(5): 133-139.
- [5] 成臣,汪建军,程慧煌,等. 秸秆还田与耕作方式对双季稻产量及土壤肥力质量的影响 [J]. 土壤学报, 2018, 55(1): 247-257.
- [6] 侯光炯. 紫色土肥力研究五十年 [J]. 大自然探索, 1983(4): 9-14.
- [7] JIANG X J, XIE D T. Combining Ridge with No-Tillage in Lowland Rice-Based Cropping System: Long-Term Effect on Soil and Rice Yield [J]. Pedosphere, 2009, 19(4): 515-522.
- [8] JIANG X, WRIGHT A L, WANG J, et al. Long-Term Tillage Effects on the Distribution Patterns of Microbial Biomass and Activities within Soil Aggregates [J]. Catena, 2011, 87(2): 276-280.
- [9] SUI P X, LI R P, ZHENG H B, et al. Long-Term Conservation Tillage Practices Directly and Indirectly Affect Soil Micro-Food Web in a Chinese Mollisol [J]. Agronomy, 2022, 12(10): 2356.
- [10] BUSARI M A, KUKAL S S, KAUR A, et al. Conservation Tillage Impacts on Soil, Crop and the Environment [J]. International Soil and Water Conservation Research, 2015, 3(2): 119-129.
- [11] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [12] 周勇,张海涛,汪善勤,等. 江汉平原后湖地区土壤肥力综合评价方法及其应用 [J]. 水土保持学报, 2001, 15(4):

70-74.

- [13] 覃迎姿, 陀少芳, 梁雄, 等. 基于长期定位监测下的近 35 年广西耕地质量演变趋势研究 [J]. 土壤通报, 2020, 51(6): 1290-1296.
- [14] MARTÍNEZ J M, GALANTINI J A, DUVAL M E, et al. Soil Quality Assessment Based on Soil Organic Matter Pools under Long-Term Tillage Systems and Following Tillage Conversion in a Semi-Humid Region [J]. Soil Use and Management, 2020, 36(3): 400-409.
- [15] 李景, 吴会军, 武雪萍, 等. 长期免耕和深松提高了土壤团聚体颗粒态有机碳及全氮含量 [J]. 中国农业科学, 2021, 54(2): 334-344.
- [16] 马微微, 陈灿, 黄璜, 等. 垄作稻鱼鸡共生对稻田土壤养分含量及水稻产量的影响 [J]. 河南农业科学, 2021, 50(8): 9-17.
- [17] 李华, 刘世平, 陈畅, 等. 连续免耕与秸秆还田对土壤养分含量的影响 [J]. 江苏农业科学, 2018, 46(15): 237-241.
- [18] BLEVINS R L, THOMAS G W, SMITH M S, et al. Changes in Soil Properties after 10 Years Continuous Non-Tilled and Conventionally Tilled Corn [J]. Soil and Tillage Research, 1983, 3(2): 135-146.
- [19] 祝海竣, 唐舟, 石爱龙, 等. 灌溉模式和有机肥配施对水稻产量、光合特性和氮肥利用率的影响 [J]. 土壤, 2022, 54(4): 700-707.
- [20] 高明, 张磊, 魏朝富, 等. 稻田长期垄作免耕对水稻产量及土壤肥力的影响研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(4): 343-348, 354.
- [21] 且天真, 李福, 厉雅华, 等. 秸秆还田条件下不同耕作方式对土壤化学性状的影响 [J]. 中国农学通报, 2022, 38(21): 58-69.
- [22] BEN MOUSSA-MACHRAOUI S, ERROUSSI F, BEN-HAMMOUDA M, et al. Comparative Effects of Conventional and No-Tillage Management on some Soil Properties under Mediterranean Semi-Arid Conditions in Northwestern Tunisia [J]. Soil and Tillage Research, 2010, 106(2): 247-253.
- [23] 娄义宝, 史东梅, 蒋光毅, 等. 基于最小数据集的紫色丘陵区坡耕地耕层土壤质量评价 [J]. 中国水土保持科学, 2019, 17(5): 75-85.
- [24] 魏勇, 王帅, 赵敬坤, 等. 重庆花椒主产区土壤养分分布特征及综合肥力评价 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2022, 44(7): 48-58.
- [25] 邓利梅, 陆传豪, 刘刚才. 川中丘陵区耕地撂荒对土壤肥力的影响 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2021, 43(3): 36-44.

责任编辑 包颖