

杨滨娟,李新梅,胡启良,等.不同轮作休耕模式对稻田土壤有机碳及其组分的影响[J].华中农业大学学报,2022,41(6):51-58.
DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2022.06.006

不同轮作休耕模式对稻田土壤有机碳及其组分的影响

杨滨娟,李新梅,胡启良,刘宁,黄国勤

江西农业大学生态科学研究中心/江西省作物生理生态与遗传育种重点实验室,南昌 330045

摘要 为了优化筛选双季稻田绿色高效的复种轮作休耕模式,通过连续2 a的田间试验,研究不同轮作休耕模式对稻田土壤有机碳及其组分的影响。结果显示:“油菜-甘蔗||春大豆→紫云英-早稻-玉米||甘薯”模式2 a的总生物量高出休耕模式以外的其他处理31.68%~65.91%。2018—2019年,“油菜-甘蔗||春大豆”和“紫云英-春大豆-秋大豆”模式更有利于土壤全碳的积累,复种轮作模式和休耕模式较连作模式更有利于土壤活性有机碳的积累,以“紫云英-早稻-玉米||甘薯”和“油菜-甘蔗||春大豆”模式表现最好。“油菜-甘蔗||春大豆”模式更有利于土壤可溶性有机碳、微生物量碳的积累。2019年“油菜-甘蔗||春大豆”的碳库活度、碳库活度指数和土壤碳库管理指数均达到最大,且分别显著高出其他处理59.46%~84.38%、59.06%~84.47%和52.81%~71.40% ($P<0.05$),轮作模式更有利于提高碳库活度、碳库活度指数和土壤碳库管理指数,尤其是“紫云英-早稻-玉米||甘薯”和“油菜-甘蔗||春大豆”模式表现较好。在当地土壤肥力条件下,复种轮作模式能提高土壤有机碳及其组分的含量,有利于改善土壤质量,提高土壤肥力,5种模式中“油菜-甘蔗||春大豆→紫云英-早稻-玉米||甘薯”复种轮作模式表现最佳。

关键词 稻田土壤; 轮作; 休耕; 土壤肥力; 碳库管理指数; 绿色高效

中图分类号 S344.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2022)06-0051-08

耕地是不可再生资源。农村农业部明确提出“坚持用地养地结合,推进耕地质量保护与提升”,要“采用间套轮作、深耕深松、保护性耕作、粮草轮作、秸秆还田、增施有机肥、种植绿肥等多种方式,促进种养结合”^[1]。轮作是利用不同作物的生物学特性,使不同的作物间均衡互补地利用光、温、水、气等自然资源,实现年间土地的高效利用,提高资源利用效率^[2]。而休耕不是撂荒,也不是传统意义上的弃耕,而是有管理、有计划地休耕,旨在维持和增强地力,改善农业资源生态环境^[3]。实施轮作休耕不仅有助于耕地的修养生息,也有利于保护耕地资源,保护农产品潜在生产能力^[4]。土壤活性有机碳(active organic carbon, AOC)虽然占比较小,但与土壤全碳相比,更有利于被植物、微生物利用^[5],能敏感地反映土壤细微的变化^[6],与土壤的理化性状^[7]、耕作方式^[8]和施肥措施^[9]等具有密切的关系。同时,活性有机碳的不同组分及碳库管理指数(carbon pool manage-

ment index, CPMI)也是反映土壤质量和肥力的良好指标^[8]。国内外众多研究表明,种植制度、耕作栽培方式、施肥方法(有机无机配施比例)和稻田环境均是影响稻田微生物量碳、氮和活性碳变化的重要因素^[10-12]。比如,在复种轮作中豆科(绿肥)作物、配合有机无机施肥措施,可以明显提高土壤中的有机碳,增加碳素供应以提高微生物对其的利用率^[13-14]。“冬季种养结合-早稻-晚稻”模式在早稻分蘖期和晚稻孕穗期能显著提高稻田土壤可溶性有机碳、有机氮和微生物量氮^[15]。种植冬季作物并秸秆覆盖还田,能较好地提高稻田0~5、5~10和10~20 cm土层土壤的碳库活度(carbon pool activity, A)、碳库活度指数(carbon pool activity index, AI)、碳库指数(carbon pool index, CPI)和土壤碳库管理指数(CPMI)^[16]。因此,本研究在“紫云英-早稻-晚稻”传统种植模式上,设置不同类型的轮作休耕模式,探究稻田轮作休耕种植模式对稻田土壤有机碳及其组分的影响,以

收稿日期:2022-04-08

基金项目:国家自然科学基金项目(32160528);国家重点研发计划项目(2016YFD0300208);江西省现代农业产业体系-稻田综合种养产业技术体系(JXARS-12)

杨滨娟, E-mail: yangbinjuan@jxau.edu.cn

通信作者:黄国勤, E-mail: hgqjxes@sina.com

期为双季稻作区合理应用绿色高效的复种轮作休耕模式提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2017年9月至2019年11月,在江西省鹰潭市余江区农业科学研究所试验田(28°14'8"N, 116°51'22"E)进行,试验地属亚热带季风湿润气候,四季分明,降雨充沛,年降雨量1788.8 mm,年平均气温17.6℃,太阳年辐射总量4542.7 kJ/m²,年无霜期平均258 d。试验地土壤多为泥沙淤

土,少数为红壤土,土质肥沃,微酸性。试验前土壤(0~20 cm)基础养分状况:土壤pH值5.07,有机质30.07 g/kg,全氮1.79 g/kg,碱解氮182.67 mg/kg,有效磷86.10 mg/kg,速效钾129.67 mg/kg。

1.2 试验材料与田间试验设计

试验设5个处理,其中处理A为连作对照,处理B、C、D进行2 a复种轮作,处理E为休耕模式,具体试验设计见表1。每个处理3次重复,随机区组排列,小区面积为66.7 m²,小区间的田埂、水沟和环沟的宽度分别为0.5、1.0和0.5 m。

表1 试验设计

Table 1 Experimental design

处理 Treatment	2017—2018	2018—2019	备注Note
A(CK)	紫云英-早稻-晚稻 Chinese milk vetch-early rice-late rice	紫云英-早稻-晚稻 Milk vetch-early rice-late rice	复种连作系统 Multiple cropping continuous systems
B	紫云英-春大豆-秋大豆 Chinese milk vetch-spring soybean-autumn soybean	油菜-甘蔗 春大豆 Rapeseed-sugarcane spring soybean	复种轮作系统 Multiple cropping rotation systems
C	紫云英-早稻-玉米 甘薯 Chinese milk vetch-early rice-maize sweet potato	紫云英-春大豆-秋大豆 Milk vetch - spring soybean-autumn soybean	复种轮作系统 Multiple cropping rotation systems
D	油菜-甘蔗 春大豆 Rapeseed-sugarcane spring soybean	紫云英-早稻-玉米 甘薯 Milk vetch-early rice-maize sweet potato	复种轮作系统 Multiple cropping rotation systems
E	休耕 Rotation fallow	休耕 Rotation fallow	休耕系统 Rotation fallow systems

注:“-”表示接茬,“||”表示间作。Note:“-” represents continuous planting; “||” represents intercropping.

试验作物和品种:紫云英(余江大叶籽),油菜(赣油1号),早稻(中早33),晚稻(黄花占),大豆(沪鲜豆6号),玉米(赣1号),甘蔗(赣紫皮果蔗),甘薯(赣南瓜红薯)。

2018年和2019年早晚稻播期均相同,均采用移栽方式。早稻4月15日移栽,行株距为20 cm×14 cm,7月8日收获;晚稻7月10日移栽,行株距为20 cm×17 cm,11月4日收获;紫云英播种量为22.5 kg/hm²,2017年10月1日播种,在盛花期(2018年4月10日)直接翻压还田;油菜种植密度为11.1万株/hm²,2017年12月6日移栽,2018年5月15日收获;大豆种植密度为6.7万株/hm²,春大豆4月15日移栽,6月6日收获,秋大豆6月15日移栽,10月31日收获;玉米播种量为6.7万株/hm²,7月15日播种,10月20日收获;甘蔗种植密度为8230株/hm²,5月16日移栽,12月6日收获;甘薯种植密度为5.6万株/hm²,7月15日移栽,10月20日收获。

肥料种类及用量:作物施肥料为尿素(N46%)、“施大壮”复合肥(N:P₂O₅:K₂O=15%:15%:15%)。

早、晚稻化肥施肥量相等,水稻氮、钾肥分基肥、蘖肥、穗肥3次撒施,施用比例为基肥:分蘖肥:穗肥=4:3:3,分蘖肥在移栽后5~7 d施用,穗肥在主茎幼穗长1~2 cm时施用。作物施肥量详见表2,早稻秸秆切碎全量还田,晚稻秸秆覆盖还田,其他田间管理措施均按照一般大田栽培。

1.3 作物考种与测产

按照各作物的经济产量,以原粮折算标准计算产量作对比分析。其中水稻、玉米、大豆、绿肥、马铃薯、甘薯、甘蔗实际产量的测定方法见参考文献[17]。

1.4 土壤有机碳库测定

于2018、2019年晚稻成熟期每小区用5点取样法取0~20 cm土壤,混匀,一部分自然风干,用于土壤总有机碳和可溶性有机碳的测定,另一部分于冰箱内冷藏(4℃, < 72 h),用于土壤活性有机碳的测定。参考稻田土壤的总有机碳含量16.67 g/kg,活性有机碳含量计算方法见参考文献[18]。

表2 作物施肥管理
Table 2 Field fertilization management

年份 Year	处理 Treatment	作物 Corp	施肥量 Fertilization amount
2017— 2018	A(CK)	紫云英 Milk vetch	0
		早稻 Early rice	尿素(折合成N) 103.5, “施大壮”复合肥(折合成N、P ₂ O ₅ 、K ₂ O)分别为: 67.5、67.5、67.5
		晚稻 Late rice	尿素(折合成N) 103.5, “施大壮”复合肥(折合成N、P ₂ O ₅ 、K ₂ O)分别为: 67.5、67.5、67.5
	B	紫云英 Milk vetch	0
		春大豆 Spring soybean	尿素(折合成N) 46.0
		秋大豆 Autumn soybean	尿素(折合成N) 46.0
	C	紫云英 Milk vetch	0
		早稻 Early rice	尿素(折合成N) 103.5, “施大壮”复合肥(折合成N、P ₂ O ₅ 、K ₂ O)分别为: 67.5、67.5、67.5
		玉米 Maize 甘薯 Sweet potato	“施大壮”复合肥(折合成N、P ₂ O ₅ 、K ₂ O)分别为: 11.25、11.25、11.25
	D	油菜 Rapeseed	尿素(折合成N) 34.5
		甘蔗 Sugar cane	尿素(折合成N) 448.5, 钙镁磷肥(折合: P ₂ O ₅ 、CaO、SiO ₂ 、MgO)为 168.75、505.25、225、125; “施大壮”复合肥(折合成N、P ₂ O ₅ 、K ₂ O)分别为: 225、225、225
		春大豆 Spring soybean	尿素(折合成N) 46.0
2018— 2019	A(CK)	紫云英 Milk vetch	0
		早稻 Early rice	尿素(折合成N) 103.5, “施大壮”复合肥(折合成N、P ₂ O ₅ 、K ₂ O)分别为: 67.5、67.5、67.5
		晚稻 Late rice	尿素(折合成N) 103.5, “施大壮”复合肥(折合成N、P ₂ O ₅ 、K ₂ O)分别为: 67.5、67.5、67.5
	B	油菜 Rapeseed	尿素(折合成N) 34.5
		甘蔗 Sugar cane	尿素(折合成N) 448.5, 钙镁磷肥(折合: P ₂ O ₅ 、CaO、SiO ₂ 、MgO)为 168.75、505.25、225、125; “施大壮”复合肥(折合成N、P ₂ O ₅ 、K ₂ O)分别为: 225、225、225
		春大豆 Spring soybean	尿素(折合成N) 46.0
	C	紫云英 Milk vetch	0
		春大豆 Spring soybean	尿素(折合成N) 46.0
		秋大豆 Autumn soybean	尿素(折合成N) 46.0
	D	紫云英 Milk vetch	0
		早稻 Early rice	尿素(折合成N) 103.5, “施大壮”复合肥(折合成N、P ₂ O ₅ 、K ₂ O)分别为: 67.5、67.5、67.5
		玉米 Maize 甘薯 Sweet potato	“施大壮”复合肥(折合成N、P ₂ O ₅ 、K ₂ O)分别为: 11.25、11.25、11.25

1.5 数据处理

采用 Microsoft Excel 2010 软件整理数据。用 SPSS17.0 系统软件进行数据处理和统计分析, 采用单因素(one-way ANOVA)和 Duncan's 法进行方差分析和多重比较($\alpha=0.05$)。用 Excel 2010 软件作图。

2 结果与分析

2.1 不同轮作休耕模式对作物产量的影响

表3为2018年和2019年各处理作物的生物量。因处理E为休耕, 其作物生物量为0(故在进行产量比较时处理E不计入)。由表3可知, 2019年的作物生物量较2018年, 除处理B增产87.86%外, 其他处

理有减产趋势。2018年各处理作物的生物量最高的是处理D(油菜-甘蔗||春大豆), 高出其他处理41.87%~128.12%。2019年各处理作物的生物量最高的是处理B(油菜-甘蔗||春大豆), 高出其他处理13.93%~101.67%。结合2a的数据来看, 处理D(油菜-甘蔗||春大豆→紫云英-早稻-玉米||甘薯)的总生物量最大, 较其他处理高出31.68%~65.91%。试验结果表明, 5种模式中, 轮作模式有利于作物生物量的积累, 尤其是油菜-甘蔗||春大豆→紫云英-早稻-玉米||甘薯复种轮作模式。

2.2 轮作休耕模式对稻田土壤有机碳及其组分的影响

1) 土壤全碳含量。从图1可以看出, 2018年至

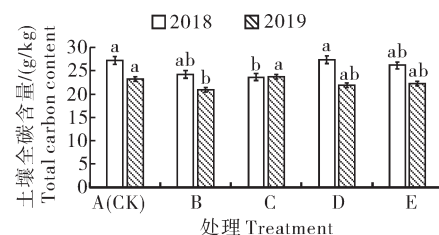
表3 各处理的作物生物量
Table 3 Crop biomass at different stages of treatments

年份 Year	处理 Treatment	作物 Crop	秸秆干质量 Dry weight of straw	经济产量 Grain yield	总计 Total
2018	A(CK)	紫云英 Milk vetch	4 458.02	0	32 091.70
		早稻 Early rice	6 716.00	7 138.30	
		晚稻 Late rice	7 011.38	6 768.00	
	B	紫云英 Milk vetch	4 707.54	0	19 957.58
		春大豆 Spring soybean	4 037.00	1 682.30	
		秋大豆 Autumn soybean	6 233.00	3 297.74	
	C	紫云英 Milk vetch	4 106.70	0	28 683.90
		早稻 Early rice	6 023.05	6 417.15	
		玉米 Maize	3 249.00	3 362.00	
		甘薯 Sweet potato	2 400.00	3 126.00	
	D	油菜 Rapeseed	2 880.45	1 721.80	45 527.18
		甘蔗 Sugar cane	4 723.69	30 983.00	
	E	春大豆 Spring soybean	3 912.20	1 306.04	0
		—	0	0	
	2019	A(CK)	紫云英 Milk vetch	4 217.36	0
早稻 Early rice			5 865.00	5 958.50	
晚稻 Late rice			5 488.00	5 917.50	
B		油菜 Rapeseed	2 718.10	1 698.00	37 450.90
		甘蔗 Sugar cane	3 392.66	24 764.00	
		春大豆 Spring soybean	3 635.00	1 243.14	
C		紫云英 Milk vetch	4 665.79	0	18 570.45
		春大豆 Spring soybean	4 158.34	1 598.00	
		秋大豆 Autumn soybean	5 560.70	2 587.62	
D		紫云英 Milk vetch	4 528.67	0	32 871.70
		早稻 Early rice	5 892.80	5 926.63	
		玉米 Maize	3 092.60	3 105.00	
		甘薯 Sweet potato	5 226.00	5 100.00	
E		—	0	0	0

2019年晚稻收获后,除处理C外,其余各处理土壤全碳含量均有所下降,下降幅度为13.72%~20.10%;2018年处理D的土壤全碳含量最高,显著高出处理C 15.89% ($P<0.05$)。2019年处理C的土壤全碳含量达到最大且仅显著高出处理B 13.44% ($P<0.05$)。复种轮作模式土壤全碳含量变化最大,“油菜-甘蔗||春大豆”和“紫云英-春大豆-秋大豆”模式更有利于土壤全碳的积累。

2) 土壤活性有机碳。由图2可知,与2018年相比,2019年晚稻收获后各处理土壤活性有机碳含量均有所增加,增加幅度为11.67%~51.38%,且均是处理E含量最低。2018年处理C仅显著高于处理E 46.50% ($P<0.05$)。2019年处理B的活性有机碳含量最高,分别显著高出CK和处理E 36.45%、40.41%

($P<0.05$)。综上所述,复种轮作模式较于连作模式和休耕模式更有利于土壤活性有机碳含量的积累,以“紫云英-早稻-玉米||甘薯”和“油菜-甘蔗||春大豆”模式表现最好。



不同小写字母表示同一年各处理间差异显著 ($P<0.05$)。下同。Different letter in same column indicated significantly at 5% levels. The same as follows.

图1 各处理2018—2019年间土壤全碳含量

Fig.1 Soil total carbon content during 2018—2019

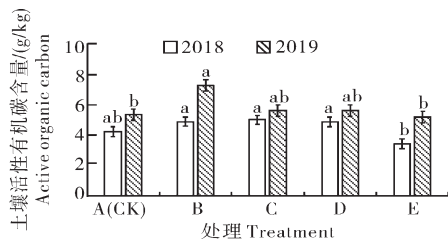


图2 各处理2018—2019年土壤活性有机碳含量
Fig.2 Soil active organic carbon content during 2018—2019

3)土壤可溶性有机碳。土壤可溶性有机碳是土壤碳库中非常活跃的有机组分。由图3可以看出,除处理C外,2019年较2018年各处理的土壤可溶性有机碳均有所增加,增加幅度为20.08%~40.32%,但2018年各处理间差异不显著($P>0.05$)。2019年处理B的土壤可溶性有机碳含量最高,除了处理D外,显著高出其他处理16.25%~39.84% ($P<0.05$)。综上,不同模式对土壤可溶性有机碳影响很大,休耕模式较于连作模式更有利于土壤可溶性有机碳的积累,“油菜-甘蔗||春大豆”模式表现更好。

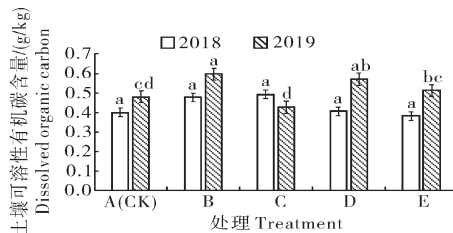


图3 各处理2018—2019年土壤可溶性有机碳含量
Fig.3 Soil dissolved organic carbon content during 2018—2019

4)土壤微生物量碳。由图4可知,2019晚稻收获后较2018年,除处理B外,其他各处理的土壤微生物量碳均有所下降,下降幅度为1.76%~14.31%,且2018年各处理均差异不显著($P>0.05$)。2019年处理B的微生物量碳最高,显著高出其他处理6.89%~40.39% ($P<0.05$)。综上,不同的复种轮作方式对土

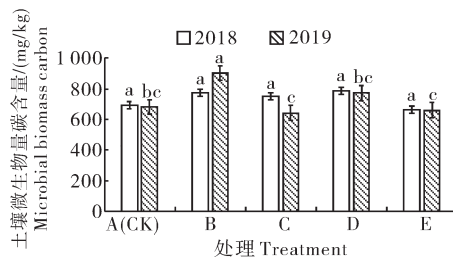


图4 各处理2018—2019年土壤微生物量碳
Fig.4 Soil microbial biomass carbon content during 2018—2019

壤微生物量碳的影响更大,“油菜-甘蔗||春大豆”模式表现最好,更有利于微生物快速生长繁殖,更有利于促进有机质分解。

2.3 轮作休耕模式对稻田土壤碳库管理指数的影响

从表4可以看出,与2018年相比,2019年晚稻收获后土壤碳库活度(A)、碳库活度指数(AI)、碳库管理指数(CPMI)的变化趋势基本一致,而且整体都有所增加。2018年处理C的碳库活度、碳库活度指数和碳库管理指数均达到最大,且仅与处理E差异达到显著($P<0.05$)。2019年处理B的A、AI和CPMI均达到最大,且均显著高出其他处理59.46%~84.38%、59.06%~84.47%和52.81%~71.40% ($P<0.05$)。综上,不同的耕作方式和管理措施对土壤的土壤碳库管理指数影响显著,轮作模式更有利于提高A、AI和CPMI,尤其是“紫云英-早稻-玉米||甘薯”和“油菜-甘蔗||春大豆”模式表现较好。

表4 各处理的稻田土壤碳库管理指数

Table 4 Management index of soil carbon pool in paddy field of at different stages of treatments

年份 Year	处理 Treatment	碳库活度 A	碳库活度指数 AI	碳库管理指/% CPMI
2018	A(CK)	0.19±0.04ab	1.35±0.26ab	218.67±0.25ab
	B	0.27±0.04a	1.84±0.27a	266.67±0.27a
	C	0.29±0.06a	1.98±0.41a	279.67±0.47a
	D	0.23±0.04ab	1.57±0.31ab	259.00±0.39a
	E	0.16±0.07b	1.13±0.46b	174.00±0.58b
2019	A(CK)	0.32±0.07b	2.19±0.49b	304.67±0.55b
	B	0.59±0.19a	4.04±1.34a	507.33±1.69a
	C	0.33±0.07b	2.27±0.45b	322.67±0.55b
	D	0.37±0.06b	2.54±0.40b	332.00±0.40b
	E	0.32±0.04b	2.22±0.24b	296.00±0.35b

注:数据为3个重复的“平均值±标准差”;同列不同的字母分别表示差异达5%显著水平。Note: Data is “average ± SD” of 3 replicates. The different letter in same column indicated significantly at 5% levels.

3 讨论

不同耕作措施与秸秆还田方式影响作物产量及土壤有机碳库^[19],不同农田生态系统的碳库管理指数受施肥、气候、土壤利用方式、耕种年限等因素的影响^[20]。本研究中,2018—2019年晚稻收获期土壤碳库活度、碳库活度指数、碳库管理指数均呈增加的趋势,不同的耕作方式和施肥措施对土壤碳库管理指数影响显著,复种轮作系统更有利于提高土壤碳

库活度、碳库活度指数、碳库管理指数。究其原因,一方面,农田土壤有机碳含量与有机质的输入相关,作物根系残留、秸秆还田等均是有机碳增加的主要原因,另一方面,紫云英、大豆固氮作用强,秸秆腐解释放部分有机氮源,也能增加部分土壤有机碳含量。

稻田活性有机碳,如可溶性有机碳和微生物量碳等能够较好地反映稻田土壤质量,能灵敏有效地测度土壤质量的细微变化^[20-22]。秸秆还田能显著增加土壤有机碳含量^[23],在本研究中得到了验证,复种轮作模式土壤全碳含量变化最大,复种轮作模式中“油菜-甘蔗||春大豆”和“紫云英-春大豆-秋大豆”更有利于土壤全碳的积累,而2019年的全碳含量总体低于2018年,这可能是由于复种轮作模式更容易消耗化肥和土壤养分等,这与2019年的作物产量和土壤肥力都低于2018年有直接的关系,这是否是短期的影响还需要进一步的观测和深入研究。张鹏等^[24]研究表明,轮作能增加土壤有机碳含量,维持土壤中原有的易氧化有机碳,本研究得到了类似的结果,复种轮作模式和休耕模式较连作模式更有利于土壤活性有机碳含量的积累。不同复种轮作方式对土壤活性有机碳的影响,既包括耕作方式改变和不同作物秸秆还田所引起的有机质积累和分解、矿化等因素产生的影响,还包括不同种植模式与施肥管理所带来的土壤物理、化学和生物因素的长期影响。因此,有必要对轮作休耕模式进行长期深入的动态研究。

稻田复种轮作模式能够提高复种指数及资源利用率,能使农田生态系统高产高效。本研究分析了各种种植模式下土壤有机碳及其组分的变化情况,特别是对轮作休耕模式进行了综合分析,可为稻田生态系统服务评价提供依据。但由于本试验年限较短,研究还不够深入,有待于长期试验研究。

综上,复种轮作模式有利于作物生物量的积累,尤其是本试验中的油菜-甘蔗||春大豆→紫云英-早稻-玉米||甘薯复种轮作模式。2018—2019年晚稻收获后,采用复种轮作模式、休耕模式较连作模式更有利于土壤活性有机碳含量的积累,休耕模式较连作模式更有利于土壤可溶性有机碳的积累,5种复种轮作模式中,“油菜-甘蔗||春大豆→紫云英-早稻-玉米||甘薯”轮作模式表现更好。耕作方式和管理措施对土壤的土壤碳库管理指数影响明显,轮作模式更有利于提高土壤碳库活度、碳库活度指数、碳库管理指

数,尤其是“紫云英-早稻-玉米||甘薯”和“油菜-甘蔗||春大豆”模式表现较好。因此,在南方双季稻区“油菜-甘蔗||春大豆→紫云英-早稻-玉米||甘薯”复种轮作模式能够增加作物产量,有利于土壤活性有机碳及碳库管理指数的提高,值得推广应用。

参考文献References

- [1] 黄国勤,赵其国.江西省耕地轮作休耕现状、问题及对策[J].中国生态农业学报,2017,25(7):1002-1007. HUANG G Q, ZHAO Q G. Current situation, issues and countermeasures of crop rotation and land fallow in Jiangxi Province[J]. Chinese journal of eco-agriculture, 2017, 25(7): 1002-1007 (in Chinese with English abstract).
- [2] 王志强,黄国勤,赵其国.新常态下我国轮作休耕的内涵、意义及实施要点简析[J].土壤,2017,49(4):651-657. WANG Z Q, HUANG G Q, ZHAO Q G. Brief analysis on connotation, significance and implementing essentials of rotation fallow under new normal in China[J]. Soils, 2017, 49(4): 651-657 (in Chinese with English abstract).
- [3] 钱晨晨,黄国勤,赵其国.中国轮作休耕制度的应用进展[J].农学学报,2017,7(3):37-41. QIAN C C, HUANG G Q, ZHAO Q G. Application advance of rotation fallow system in China[J]. Journal of agriculture, 2017, 7(3): 37-41 (in Chinese with English abstract).
- [4] 黄国勤.南方稻田耕作制度可持续发展面临的十大问题[J].耕作与栽培,2009(3):1-2. HUANG G Q. Ten problems of sustainable development of rice paddy farming system in south China[J]. Cultivation and cultivation, 2009, (3): 1-2 (in Chinese).
- [5] 沈宏,曹志洪,胡正义.土壤活性有机碳的表征及其生态效应[J].生态学杂志,1999,18(3):32-38. SHEN H, CAO Z H, HU Z Y. Characteristics and ecological effects of the active organic carbon in soil[J]. Chinese journal of ecology, 1999, 18(3): 32-38 (in Chinese with English abstract).
- [6] 张迪,韩晓增,李海波,等.不同植被覆盖与施肥管理对黑土活性有机碳及碳库管理指数的影响[J].生态与农村环境学报,2008,24(4):1-5. ZHANG D, HAN X Z, LI H B, et al. Impacts of long-term vegetation and fertilization management on black soil labile organic carbon and carbon management index[J]. Journal of ecology and rural environment, 2008, 24(4): 1-5 (in Chinese with English abstract).
- [7] 陈小花,杨青青,余雪标,等.热带海岸典型森林类型土壤有机碳储量和碳氮垂直分布特征[J].热带作物学报,2017,38(1):38-44. CHEN X H, YANG Q Q, YU X B, et al. Soil organic carbon storage and vertical distribution of carbon and nitrogen under different typical forest types in the coastal tropical area[J]. Chinese journal of tropical crops, 2017, 38(1): 38-44 (in Chinese with English abstract).
- [8] 陈娟,马忠明,刘莉莉,等.不同耕作方式对土壤有机碳、微生物量及酶活性的影响[J].植物营养与肥料学报,2016,22(3):667-675. CHEN J, MA Z M, LIU L L, et al. Effect of tillage system

- on soil organic carbon, microbial biomass and enzyme activities [J]. *Journal of plant nutrition and fertilizer*, 2016, 22(3): 667-675 (in Chinese with English abstract).
- [9] 马天娥,魏艳春,杨宪龙,等.长期施肥措施下土壤有机碳矿化特征研究[J].*中国生态农业学报*, 2016, 24(1): 8-16. MA T E, WEI Y C, YANG X L, et al. Mineralization characteristics of soil organic carbon under long-term fertilization management [J]. *Chinese journal of eco-agriculture*, 2016, 24(1): 8-16 (in Chinese with English abstract).
- [10] 兰延,黄国勤,杨滨娟,等.稻田绿肥轮作提高土壤养分增加有机碳库[J].*农业工程学报*, 2014, 30(13): 146-152. LAN Y, HUANG G Q, YANG B J, et al. Effect of green manure rotation on soil fertility and organic carbon pool [J]. *Transactions of the CSAE*, 2014, 30(13): 146-152 (in Chinese with English abstract).
- [11] 巫志宇,廖和平,杨伟.耕作方式对稻田土壤有机碳与易氧化有机碳的影响[J].*农机化研究*, 2013, 35(1): 184-188. WU X Y, LIAO H P, YANG W. Effect of different tillage systems on distribution of organic carbon and readily oxidation carbon in purple paddy soil [J]. *Journal of agricultural mechanization research*, 2013, 35(1): 184-188 (in Chinese with English abstract).
- [12] 徐尚起,崔思远,陈阜,等.耕作方式对稻田土壤有机碳组分含量及其分布的影响[J].*农业环境科学学报*, 2011, 30(1): 127-132. XU S Q, CUI S Y, CHEN F, et al. Effect of tillage on content of density fractions of paddy soil organic carbon and its spatial distribution [J]. *Journal of agro-environment science*, 2011, 30(1): 127-132 (in Chinese with English abstract).
- [13] 刘春增,常单娜,李本银,等.种植翻压紫云英配施化肥对稻田土壤活性有机碳氮的影响[J].*土壤学报*, 2017, 54(3): 657-669. LIU C Z, SHAN D N, LI B Y, et al. Effects of planting and incorporation of Chinese milk vetch coupled with application of chemical fertilizer on active organic carbon and nitrogen in paddy soil [J]. *Acta pedologica sinica*, 2017, 54(3): 657-669 (in Chinese with English abstract).
- [14] DUAN Y, CHEN L, ZHANG J B, et al. Long-term fertilization reveals close associations between soil organic carbon composition and microbial traits at aggregate scales [J/OL]. *Agriculture, ecosystems & environment*, 2021, 306: 107169 [2022-04-08]. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107169>.
- [15] 周玲红,魏甲彬,唐先亮,等.冬季种养结合对稻田土壤微生物量及有效碳氮库的影响[J].*草业学报*, 2016, 25(11): 103-114. ZHOU L H, WEI J B, TANG X L, et al. Effects of winter green manure crops with and without chicken rearing on microbial biomass and effective carbon pools in a double-crop rice paddy soil [J]. *Acta prataculturae sinica*, 2016, 25(11): 103-114 (in Chinese with English abstract).
- [16] 唐海明,程凯凯,肖小平,等.不同冬季覆盖作物对双季稻田土壤有机碳的影响[J].*应用生态学报*, 2017, 28(2): 465-473. TANG H M, CHENG K K, XIAO X P, et al. Effects of different winter cover crops on soil organic carbon in a double cropping rice paddy field [J]. *Chinese journal of applied ecology*, 2017, 28(2): 465-473 (in Chinese with English abstract).
- [17] 孙丹平.稻田水旱复种轮作对作物生长、资源利用及土壤生态环境的影响[D].南昌:江西农业大学, 2016. SUN D P. Effects on crops growth, resource utilization and soil ecological environment under paddy-upland multiple cropping rotation systems [D]. Nanchang: Jiangxi Agricultural University, 2016 (in Chinese with English abstract).
- [18] 袁嘉欣,杨滨娟,胡启良,等.长江中游稻田种植模式对土壤有机碳及碳库管理指数的影响[J].*中国生态农业学报(中英文)*, 2021, 29(7): 1205-1214. YUAN J X, YANG B J, HU Q L, et al. Effects of paddy field cropping patterns on soil organic carbon and carbon pool management index in the middle reaches of the Yangtze River [J]. *Chinese journal of eco-agriculture*, 2021, 29(7): 1205-1214 (in Chinese with English abstract).
- [19] 王丹丹,周亮,黄胜奇,等.耕作方式与秸秆还田对表层土壤活性有机碳组分与产量的短期影响[J].*农业环境科学学报*, 2013, 32(4): 735-740. WANG D D, ZHOU L, HUANG S Q, et al. Short-term effects of tillage practices and wheat-straw returned to the field on topsoil labile organic carbon fractions and yields in Central China [J]. *Journal of agro-environment science*, 2013, 32(4): 735-740 (in Chinese with English abstract).
- [20] 杨晶,沈禹颖,南志标,等.保护性耕作对黄土高原玉米-小麦-大豆轮作系统产量及表层土壤碳管理指数的影响[J].*草业学报*, 2010, 19(1): 75-82. YANG J, SHEN Y Y, NAN Z B, et al. Effects of conservation tillage on crop yield and carbon pool management index on top soil within a maize-wheat-soy rotation system in the Loess Plateau [J]. *Acta prataculturae sinica*, 2010, 19(1): 75-82 (in Chinese with English abstract).
- [21] 杨凯,朱教君,张金鑫,等.不同林龄落叶松人工林土壤微生物量碳氮的季节变化[J].*生态学报*, 2009, 29(10): 5500-5507. YANG K, ZHU J J, ZHANG J X, et al. Seasonal dynamics of soil microbial biomass C and N in two larch plantation forests with different ages in Northeastern China [J]. *Acta ecologica sinica*, 2009, 29(10): 5500-5507 (in Chinese with English abstract).
- [22] 张静,马玲,丁新华,等.扎龙湿地不同生境土壤微生物量碳氮的季节变化[J].*生态学报*, 2014, 34(13): 3712-3719. ZHANG J, MA L, DING X H, et al. Seasonal dynamics of soil microbial biomass C and N in different habitats in Zhalong Wetland [J]. *Acta ecologica sinica*, 2014, 34(13): 3712-3719 (in Chinese with English abstract).
- [23] 刘占锋,刘国华,傅伯杰,等.人工油松林(*Pinus tabulaeformis*)恢复过程中土壤微生物量C、N的变化特征[J].*生态学报*, 2007, 27(3): 1011-1018. LIU Z F, LIU G H, FU B J, et al. Dynamics of soil microbial biomass C, N along restoration chronosequences in pine plantations [J]. *Acta ecologica sinica*, 2007, 27(3): 1011-1018 (in Chinese with English abstract).
- [24] 张鹏,钟川,周泉,等.不同冬种模式对稻田土壤碳库管理指数的影响[J].*中国生态农业学报*, 2019, 27(8): 1163-1171. ZHANG P, ZHONG C, ZHOU Q, et al. Effects of different winter planting patterns on carbon management index of paddy field [J]. *Chinese journal of eco-agriculture*, 2019, 27(8): 1163-1171 (in Chinese with English abstract).

Effects of rotation and fallow patterns on organic carbon and its components in soil of paddy fields

YANG Binjuan, LI Xinmei, HU Qiliang, LIU Ning, HUANG Guoqin

Center for Ecological Sciences/Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Genetic Breeding of Jiangxi Province, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China

Abstract The effects of rotation and fallow patterns on the soil organic carbon and its components in paddy fields were studied through two consecutive years of field experiments to optimize and screen the green and efficient multiple cropping mode of rotation and fallow in the rice fields with double cropping. The results showed that the total biomass of “Rapeseed - sugarcane || spring soybean → Chinese milk vetch-early rice-maize || sweet potato” pattern for two years was 31.68% - 65.91% higher than that of other patterns. In 2018–2019, the “Rapeseed - sugarcane || spring soybean” and the “Chinese milk vetch - spring soybean - autumn soybean” pattern were more conducive to the accumulation of total carbon in soil. The multiple cropping rotation pattern and fallow pattern were more conducive to the accumulation of active organic carbon in soil than the continuous cropping pattern. The “Chinese milk vetch - early rice and maize || sweet potato” and the “Rapeseed - sugarcane || spring soybean” were the best patterns. The “Rapeseed - sugarcane || spring soybean” pattern was more conducive to the accumulation of soluble organic carbon, microbial biomass carbon in soil. In 2019, the A (carbon pool activity), AI (carbon pool activity index) and carbon pool management index (CPMI) of the “Rapeseed - sugarcane || spring soybean” pattern reached the maximum and were 59.46%-84.38%, 59.06%-84.47% and 52.81%-71.40% higher than those of other patterns ($P < 0.05$). The rotation pattern was more conducive to improving A, AI and CPMI, especially the “Chinese milk vetch - early rice and maize || sweet potato” and the “Rapeseed - sugarcane || spring soybean” patterns had good performance. Under the condition of local soil fertility, paddy-upland multiple cropping rotation pattern increased the content of organic carbon and its components in soil, which is conducive to improving the soil quality and the soil fertility. Among the five patterns, the “Rapeseed - sugarcane || spring soybean to Chinese milk vetch - early rice - maize || sweet potato” pattern was the best.

Keywords paddy field; rotation; fallow; soil fertility; carbon pool management index; green-efficient

(责任编辑:张志钰)