

常国亮,徐建明,卢彩萍,等. 稻虾连作稻秸还田下克氏原螯虾养成期稻田肥力变化初步研究[J]. 江苏农业科学,2022,50(16):235-238.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.16.034

稻虾连作稻秸还田下克氏原螯虾养成期 稻田肥力变化初步研究

常国亮¹, 徐建明¹, 卢彩萍², 丁怀宇¹, 杨柳¹, 姜珊¹, 宋玉豪¹

(1. 淮阴师范学院/江苏省特色水产繁育工程实验室, 江苏淮安 223300;

2. 淮安朱高生态农业科技有限公司, 江苏淮安 223113)

摘要:稻虾(克氏原螯虾)连作是稻渔综合种养的主要模式之一。以稻虾连作模式下克氏原螯虾养成期(2018 年 11 月至 2019 年 6 月)稻田土壤[上层(0~10 cm)土壤、下层(10~20 cm)土壤]为研究对象,初步分析稻秸还田后稻田肥力(pH 值、有机质含量、全氮含量、有效磷含量、速效钾含量、缓效钾含量和硝态氮含量)的变化。结果表明,对上层土壤而言,pH 值第 2、第 3 次取样时显著低于第 1、第 4 次取样时的水平($P < 0.05$);有效磷含量在第 1 次取样(2018 年 11 月)时最高,至第 2 次取样(2019 年 2 月)时降至最低,到第 3、第 4 次取样(2019 年 4、6 月)时有效磷含量显著上升,但仍显著低于 2018 年 11 月时的水平($P < 0.05$);速效钾含量随取样时间的延长逐渐上升,至 2019 年 6 月达到最高值,显著高于前 3 次取样时的水平($P < 0.05$);缓效钾含量在第 3 次取样时(2019 年 4 月)最低,显著低于另外 3 次取样时的水平($P < 0.05$),而另外 3 次取样之间无显著差异($P > 0.05$);有机质、全氮和硝态氮含量在 4 次取样之间均无显著差异($P > 0.05$)。对下层土壤而言,2018 年 11 月水稻收割后第 1 次取样时,有机质、有效磷和缓效钾含量显著低于 2019 年 6 月第 4 次取样时的水平($P < 0.05$)。对同一取样点上层、下层土壤进行比较发现,在第 1 次取样(2018 年 11 月)时,上层土壤的 pH 值、有机质含量、全氮含量和有效磷含量显著高于下层土壤($P < 0.05$),但第 4 次取样(2019 年 6 月)时均已无显著差异($P > 0.05$)。综上所述,稻秸返田后,土壤有效磷含量、pH 值、有机质含量等土壤养分指标会快速变化,为防止其对克氏原螯虾养殖水体产生不良影响,建议采取栽培伊乐藻等科学措施。

关键词:稻虾连作;克氏原螯虾;稻秸;土壤肥力

中图分类号: S964.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2022)16-0235-04

稻渔综合种养模式是一种稻田、水产种养相结合的生态农业模式。其中,稻-克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*, 别称小龙虾)综合种养是其中最主要的模式,该模式因技术容易掌握、效益好,近年来获得快速发展,2020 年全国稻-克氏原螯虾综合种养面积已达 126.14 万 hm^2 [《中国小龙虾产业发展报告(2021)》]。稻-克氏原螯虾综合种养模式常见的有稻虾(克氏原螯虾)连作和稻虾(克氏原螯虾)共作 2 种模式,而稻虾连作是其中主要的养殖模式,这种模式是指在 1 年的生产周期内,种植 1 季水稻,随后养殖 1 季克氏原螯虾。在该养殖模式下,稻田中的有机碎屑、浮游生物、杂草等均可作为克氏原螯虾的食物,而克氏原螯虾摄食后的残饵、

粪便及活动对稻田的生态均可产生影响。所以,对稻虾连作的研究除了养殖技术外,目前已有学者开始关注此种养殖模式下克氏原螯虾对稻田生态系统中物质循环、浮游生物和土壤特性等的影响^[1-3]。因稻虾连作模式下除少部分养殖户因担心水稻收获后的稻秸腐烂导致水质难以管理外,大部分养殖户均把稻秸留下返田,不难预料的是这些稻秸肯定会对养殖稻田的肥力产生影响,而这方面的报道并未检索到。因此,本研究调查稻虾连作稻秸还田后克氏原螯虾养成期(2018 年 11 月至 2019 年 6 月)稻田土壤 pH 值、有机质含量、全氮含量、有效磷含量、速效钾含量、缓效钾含量、硝态氮含量等 7 个肥力指标的变化,以期为该模式下克氏原螯虾养殖过程中科学地投饵、水草栽培、水质调控等提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验在江苏省金湖县金南镇吴桥村进行,试验

收稿日期:2021-10-19

基金项目:江苏省产学研合作项目(编号:BY2020322);江苏省渔业科技类项目(编号:D2017-1-2)。

作者简介:常国亮(1974—),男,河南濮阳人,博士,副教授,主要从事特种水产动物营养与养殖研究。E-mail:changgl888@163.com。

稻田面积为 1.33 hm^2 , 稻田四周开有环沟(宽 4 m 、深 1.2 m), 克氏原螯虾养殖期间稻田与环沟中均种植有伊乐藻(*Elodea nuttallii*), 覆盖面积约 40% 。取样前栽种水稻品种为徽两优 882, 水稻栽种前施有机肥 $1\ 200 \text{ kg/hm}^2$, 11 月上旬收割水稻, 水稻产为量 $9\ 513 \text{ kg/hm}^2$ 。水稻收割时留稻桩高度约 40 cm , 所有稻秸还田。水稻收割后 10 d 开始加水, 根据水质情况逐步加深水位。克氏原螯虾苗为前 1 年所留亲本自繁, 养殖期间投喂克氏原螯虾专用配合饲料(蛋白含量 28%), 克氏原螯虾产量为 $1\ 921.95 \text{ kg/hm}^2$ 。

土壤样品采集时间分别为 2018 年 11 月(水稻已收割, 稻田已上水)和 2019 年 2、4、6 月(水稻栽种前), 依次设置为试验第 1、第 2、第 3、第 4 次取样, 均采用土壤肥力测定时常用的 5 点取样法。第 1、第 4 次取样时, 对同一个取样点分别取 $0 \sim 10 \text{ cm}$ 深度土层土壤(上层土壤)和 $10 \sim 20 \text{ cm}$ 深度土层土壤(下层土壤), 另外 2 次取样(第 2、第 3 次取样)因稻田水位较深, 只取 $0 \sim 10 \text{ cm}$ 土层土壤(上层土壤)。土壤肥力指标选取土壤 pH 值、有机质含量、全氮含量、有效磷含量、速效钾含量、缓效钾含量、硝态氮含量等 7 个指标。

1.2 样品处理与分析

新鲜土壤取回后, 将样品平铺在干净的塑料箱中, 放置在实验室阴凉通风处自然风干。在自然风干过程中每天下午翻动 1 次样品, 以加速土壤干燥。当样品风干至半干时, 用铁棒将大块的土壤敲碎。用四分法取适量已风干敲碎的土壤样品, 先去除稻秸等土壤以外的侵入物品, 再将土壤样品碾碎, 使样品能全部通过 2 mm 孔径的试验筛。用筛子筛后的土壤先充分混匀, 再装入洁净的土壤袋, 置于样品柜中存放备用。

pH 值、有机质含量、全氮含量、有效磷含量、速效钾含量、缓效钾含量、硝态氮含量^[1]等 7 个土壤肥力指标均按照中华人民共和国农业行业标准中相关方法进行测定(pH 值, NY/T 1377—2007《土壤 pH 的测定》; 有机质含量, NY/T 1121.6—2006《土壤检测 第 6 部分: 土壤有机质的测定》; 全氮含量: NY/T 1121.24—2012《土壤检测 第 24 部分 土壤全氮的测定自动定氮仪法》; 有效磷含量, NY/T 1121.7—2014《土壤检测 第 7 部分: 土壤有效磷的测定》; 速效钾、缓效钾含量, NY/T 889—2004《土壤速效钾和缓效钾含量的测定》; 硝态氮含量, LY/T 1228—2015《森林土壤氮的测定》)。

1.3 数据统计与分析

所有数据均采用“平均值 \pm 标准差”表示。试验数据采用 SPSS 16.0 软件进行统计分析, 上层土壤测定指标采用单因子 ANOVA 对试验结果进行方差分析, Tukey's - b 法进行多重比较; 第 1 次与第 4 次取样时的下层土壤之间以及 2 次取样时上下层土壤测定指标对比分析采用 t -test 进行分析; 所有分析均取 $\alpha = 0.05$ 为差异显著水平。

2 结果与分析

对上层土壤而言, 第 2、第 3 次取样时的 pH 值均低于 6.25, 显著低于第 1、第 4 次($P < 0.05$), 而第 1、第 4 次取样时 pH 值无差异, 表明水稻收割后上层土壤 pH 值下降, 到 2019 年 6 月水稻种植前, pH 值恢复到水稻收割时的水平。有效磷含量在第 1 次取样时(2018 年 11 月)最高, 达到 $(29.96 \pm 2.91) \text{ mg/kg}$, 至第 2 次取样时(2019 年 2 月)降至最低, 为 $(8.84 \pm 2.16) \text{ mg/kg}$, 到第 3、第 4 次取样时(2019 年 4 月、6 月), 有效磷含量显著上升, 但仍显著低于 2018 年 11 月($P < 0.05$)。速效钾含量随取样时间的推迟逐渐上升, 至 2019 年 6 月第 4 次取样时达到最高值 $(173.6 \pm 21.8) \text{ mg/kg}$, 明显高于前 3 次取样。而缓效钾含量在第 3 次取样(2019 年 4 月)时最低, 为 $(346.4 \pm 22.2) \text{ mg/kg}$, 显著低于另外 3 次取样($P < 0.05$), 而另外 3 次取样缓效钾含量无显著差异($P > 0.05$)。有机质、全氮、硝态氮 3 个土壤肥力指标 4 次取样时均无显著差异($P > 0.05$) (表 1)。

对下层土壤而言, 2018 年 11 月水稻收割后第 1 次取样时, 有机质、有效磷、缓效钾含量显著低于 2019 年 6 月第 4 次取样时($P < 0.05$), 而 pH 值、全氮含量、速效钾含量、硝态氮含量在 2 次取样时均无显著差异($P > 0.05$) (表 2)。

对同一取样点上、下层土壤而言, pH 值、有机质含量、全氮含量和有效磷含量第 1 次取样时(2018 年 11 月), 上层土壤值均显著高于下层土壤值($P < 0.05$), 但第 4 次取样时(2019 年 6 月), 已均无显著差异($P > 0.05$)。速效钾、缓效钾、硝态氮含量 2 次取样时上、下层土壤均无显著差异($P > 0.05$) (表 3)。

3 讨论与结论

稻-克氏原螯虾综合种养稻田中, 磷元素非常活跃, 稻虾共作模式下, 土壤中全磷含量显著高于

表 1 上层土壤肥力指标分析

取样次序	pH 值	有机质含量 (g/kg)	全氮含量 (%)	有效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)	缓效钾含量 (mg/kg)	硝态氮含量 (mg/kg)
第 1 次取样	6.72 ± 0.22a	30.82 ± 1.21	0.192 ± 0.010	29.96 ± 2.91a	124.0 ± 10.3b	404.0 ± 9.8a	2.86 ± 2.19
第 2 次取样	6.00 ± 0.12b	33.42 ± 3.41	0.204 ± 0.023	8.84 ± 2.16c	159.2 ± 33.4ab	412.0 ± 22.4a	4.32 ± 0.80
第 3 次取样	6.24 ± 0.15b	33.66 ± 1.74	0.200 ± 0.009	13.00 ± 1.26b	165.2 ± 34.7ab	346.4 ± 22.2b	3.64 ± 2.68
第 4 次取样	6.58 ± 0.23a	30.52 ± 3.07	0.201 ± 0.023	11.16 ± 2.75bc	173.6 ± 21.8a	422.2 ± 60.3a	5.07 ± 2.32

注:同列数据后不同字母表示差异显著($P < 0.05$),相同字母或者无字母表示差异不显著($P > 0.05$)。表 2、表 3 同。

表 2 下层土壤肥力指标分析

取样次序	pH 值	有机质含量 (g/kg)	全氮含量 (%)	有效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)	缓效钾含量 (mg/kg)	硝态氮含量 (mg/kg)
第 1 次取样	6.02 ± 0.23a	26.28 ± 3.25a	0.163 ± 0.018a	3.42 ± 1.65a	111.0 ± 16.5a	394.6 ± 26.1a	5.70 ± 3.25a
第 4 次取样	6.42 ± 0.40a	35.38 ± 1.68b	0.206 ± 0.020a	10.18 ± 2.41b	158.4 ± 26.4a	430.2 ± 20.3b	6.05 ± 2.06a

表 3 同一取样点上层、下层土壤肥力对比结果

取样次序	土壤层级	pH 值	有机质含量 (g/kg)	全氮含量 (%)	有效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)	缓效钾含量 (mg/kg)	硝态氮含量 (mg/kg)
第 1 次	上层土壤	6.72 ± 0.22a	30.82 ± 1.21a	0.192 ± 0.010a	29.96 ± 2.91a	124.0 ± 10.3a	404.0 ± 9.8a	2.86 ± 2.19a
	下层土壤	6.02 ± 0.23b	26.28 ± 3.25b	0.163 ± 0.018b	3.42 ± 1.65b	111.0 ± 16.5a	394.6 ± 26.1a	5.70 ± 3.25a
第 4 次	上层土壤	6.58 ± 0.23a	30.52 ± 3.07a	0.201 ± 0.023a	11.16 ± 2.75a	173.6 ± 21.8a	422.2 ± 60.3a	5.07 ± 2.32a
	下层土壤	6.42 ± 0.40a	35.38 ± 1.68a	0.206 ± 0.020a	10.18 ± 2.41a	158.4 ± 26.4a	430.2 ± 20.3a	6.05 ± 2.06a

常规种植水稻田^[4],而在稻虾共作、连作 2 种综合种养模式稻田中,土壤中有效磷的含量均会随着养殖年份的延长而增加^[3,5]。本试验结果表明,从 2018 年 11 月水稻收割至 2019 年 6 月水稻栽种前的克氏原螯虾养成期间,所测的 7 个指标中有效磷含量也是最活跃的成分。对上层土壤而言,4 次取样中 2018 年 11 月时最高,先下降,后上升,再下降,且上层土壤有效磷含量显著高于下层土壤。究其原因,2018 年 11 月时含量最高与其水稻栽培过程中施用磷肥、稻秸还田上水后稻秸腐烂等因素密切相关。室内稻秸在水体内自然腐烂试验结果显示,水稻秸秆用剪刀剪碎,水温约 18 ℃,磷酸盐含量 2 d 内就开始急剧上升,从 0 上升至 0.17 mg/L 左右,说明 2018 年 11 月土壤中有效磷含量最高与稻秸腐烂有密切的关系。2019 年 2 月最低,是因为上水后随稻秸、杂草等有机物腐烂、养殖水体恶化,养殖户一般会通过加水、放水来调控水质,土壤中的磷迁移至养殖水体后会随放水大量流失。可见,在此期间稻田水质恶化后放至自然水体,可为自然水体带来大量的磷而污染水体。在稻秸返田过程的前 2 个月内,建议稻虾综合种养户通过将返田稻秸晾晒 5 d 左右,使稻秸失去大量水分降低上水后的腐烂速

度,并通过逐步加水(先上水淹没稻田 10 cm 左右,再视水质情况逐步缓慢加水)等措施调控水质,尽可能减少稻田内的水外排。2019 年 4 月,土壤中有效磷含量又显著提高,应与克氏原螯虾养殖过程中投喂的饲料有关,一般克氏原螯虾饲料中均会添加磷酸二氢钙等矿质元素,以满足克氏原螯虾生长、蜕壳的需求;6 月又稍许下降,这是因为 6 月时克氏原螯虾已大部分出售,饲料投喂减少,且此时稻田伊乐藻等水生植物和藻类生长对磷的利用增加。对下层土壤而言,2018 年 11 月有效磷含量显著低于 2019 年 6 月,推测原因为 2018 年 11 月取样前一段时间,未收获的水稻处于生殖生长期,对磷等矿质元素的需求量较大,下层有效磷被水稻利用;而 2019 年 6 月第 4 次取样时上、下层土壤有效磷含量已趋于一致,表明上层土壤中的磷向下层迁移了。

从 pH 值来看,所有样品均低于 7.0,2019 年 2、4 月显著低于 2018 年 11 月和 2019 年 6 月,推测与稻秸腐烂产生酸性物质有关,4 月又是水质变化剧烈时期和克氏原螯虾快速生长阶段,而克氏原螯虾生长的适宜 pH 值为 7.0 ~ 8.5^[6],所以此时可考虑适当施用生石灰(75 kg/hm²)进行调节,以促进克氏原螯虾蜕壳和快速生长。2018 年 11 月和 2019

年 6 月土壤 pH 值无显著差异,而一些研究结果表明开展稻虾综合种养 1 年后,稻田土壤 pH 值会显著上升^[3-4,7],这与本研究结果并不一致,可能与不同地域的土壤性质、稻田开展稻虾综合种养时间及施肥和生石灰施用等差异管理措施有关。

上层土壤有机质含量在 4 次取样之间无显著差异,而下层土壤有机质含量在 2019 年 6 月取样显著高于 2018 年 11 月,且此时上层、下层土壤有机质含量无显著差异。说明 2018 年 11 月水稻收割后,上层土壤有机质含量高于下层土壤,但随着时间的延长,下层土壤中有机质含量逐渐增加,至 2019 年 6 月水稻栽种前上、下层土壤中有机质含量趋于一致,表明稻田综合种养模式下,稻秸还田有助于增加水稻根系层有机质,改善土壤通气状况,有利于水稻、伊乐藻等水生植物的生长,这与以前的研究结果^[3,5]一致。

上层土壤速效钾、缓效钾含量变化幅度明显大于下层土壤,表明上层土壤速效钾、缓效钾含量受养殖水体影响较大,且现有研究结果表明,稻虾种养模式稻田土壤中速效钾含量变化并不一致(或上升或下降)^[3,7],故有关速效钾、缓效钾的变化有待更进一步的研究。

综上,对稻虾连作模式而言,除关注该综合种

养模式下土壤养分变化对水稻的影响外,还应关注水稻收获后养殖克氏原螯虾的这段时间内,稻秸还田后土壤有效磷含量、pH 值、有机质含量等土壤养分指标的快速变化是否显著影响着养殖水体。建议此时间段内通过栽培伊乐藻等水生植物、微生态水质调控和科学投饵等措施,防止稻田水体恶化引起蓝藻、青苔暴发,从而影响克氏原螯虾的存活和生长。

参考文献:

- [1] 隋 焱,夏德军,石小平,等. 稻虾连作模式下稻田水体浮游生物调查研究[J]. 安徽农学通报,2018,24(18):43-47.
 - [2] 奚业文,周 洵. 稻虾连作共作稻田生态系统中物质循环和效益初步研究[J]. 中国水产,2016(3):78-82.
 - [3] 蔡 晨,李 谷,朱建强,等. 稻虾轮作模式下江汉平原土壤理化性状特征研究[J]. 土壤学报,2019,56(1):217-226.
 - [4] 陈万明,郝慧娟,廖中建,等. 稻虾养殖生态模式对产地环境及农产品质量安全风险的影响[J]. 湖南农业科学,2019(4):64-69.
 - [5] 易芙蓉,杨天娇,赵宇辰,等. 稻虾共作对稻田土壤耕作层养分的影响——基于益阳市南县的实证分析[J]. 作物研究,2019,33(5):424-427.
 - [6] 周凤建,强晓刚,常国亮. 小龙虾高效养殖与疾病防治技术[M]. 2 版. 北京:化学工业出版社,2020.
 - [7] 杨智景,顾海龙,顾 明,等. 稻虾种养模式对土壤肥力的影响[J]. 江苏农业科学,2020,48(23):245-249.
-
- (上接第 43 页)
- [70] Fernando L H. The performance of salt resistant paddy, Pokkali in Ceylon[J]. Tropical Agriculture,1949,105:124-126.
 - [71] Bimpong I K,Manneh B,Sock M,et al. Improving salt tolerance of lowland rice cultivar ‘Rassi’ through marker-aided backcross breeding in West Africa[J]. Plant Science,2016,242:288-299.
 - [72] Reddy I N B L,Kim S M,Kim B K,et al. Identification of rice accessions associated with K^+/Na^+ ratio and salt tolerance based on physiological and molecular responses[J]. Rice Science,2017,24(6):360-364.
 - [73] 石玉海,李 彻,张三元,等. 水稻耐盐碱品种选育初报[J]. 吉林农业科学,1992,17(4):39-41.
 - [74] 陈香兰,王春艳,吕晓波,等. 应用组织培养方法选育耐盐碱水稻新品种[J]. 生物技术,1992,2(5):26-28,16.
 - [75] 张俊国,张三元,赵劲松,等. 耐盐碱、高产、优质水稻新品种长白 10 的选育报告[J]. 吉林农业科学,2003,28(1):20-22.
 - [76] 李景鹏,田志杰,谷亚娟,等. 耐盐碱优质水稻新品种“东稻 12”选育报告[J]. 吉林农业大学学报,2018,40(5):651-654.
 - [77] 汪宗立,李建坤,王志霞. 水稻耐盐性的生理研究 IV. 盐渍对超氧化物歧化酶和过氧化氢酶活性的影响[J]. 江苏农业学报,1990,6(2):1-6.
 - [78] 阮松林,薛庆中. 盐胁迫条件下杂交水稻种子发芽特性和幼苗耐盐生理基础[J]. 中国水稻科学,2002,16(3):281-284.
 - [79] 李玉祥,林海荣,梁 倩,等. 多巴胺引发对盐胁迫下水稻种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 中国水稻科学,2021,35(5):487-494.
 - [80] 王北辰,伍国强. 植物高亲和性 K^+ 转运蛋白(HAK)研究进展[J]. 植物生理学报,2021,57(5):1065-1073.
 - [81] 谢树鹏,李俊峰,张广彬,等. QTL 技术在水稻耐盐育种上的应用[J]. 黑龙江农业科学,2010(4):7-10.
 - [82] 藏金萍,曹志艳,李姗姗. 水稻耐盐相关 QTL 研究进展[J]. 安徽农业科学,2011,39(20):12041-12043.
 - [83] 孙志国,刘 冉,吴 昊,等. 保水缓释肥对盐胁迫下水稻生长和光合特性的调控[J]. 土壤学报,2016,53(3):757-767.
 - [84] 王志春. 盐碱洼地水稻综合栽培技术[J]. 资源开发与市场,1999,15(4):195.
 - [85] 魏立兴. 外源脱落酸对水稻(*Oryza sativa* L.)盐碱胁迫的诱抗效应及其生理机制[D]. 哈尔滨:中国科学院研究生院(东北地理与农业生态研究所),2015:1-5.
 - [86] 黄益宗,张文强,招礼军,等. Si 对盐胁迫下水稻根系活力、丙二醛和营养元素含量的影响[J]. 生态毒理学报,2009,4(6):860-866.