

# Effects of Novel High Efficient Fertilizer on Paddy Growth and Quality of Paddy-Lobster Farm

Shengjie Lin<sup>1</sup>, Zhen Wang<sup>1</sup>, Changchai Ng<sup>2</sup>, Xiaohai Tian<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>College of Agriculture, Yangtze University, Jingzhou Hubei

<sup>2</sup>Low Input Sustainable Agriculture Practitioner Consortium, Kuala Lumpur Malaysia

Email: \*xiaohait@sina.com.cn

Received: Apr. 1<sup>st</sup>, 2020; accepted: Apr. 21<sup>st</sup>, 2020; published: Apr. 28<sup>th</sup>, 2020

## Abstract

Collaboration among Low Input Sustainable Agriculture Consortium (LISA), Malaysia and Yangtze University, Hubei China has launched novel zeolite fertilizer on paddy-lobster cohabitation field. Effects of the fertilizer on the paddy growth, yield, and water quality were recorded. The results indicated that treatment group performed better on SPAD chlorophyll, tiller number, Leaf Area Index. Performances on yield, thousand-grain weight and rice extractions were also better. pH and ammonia nitrogen of water remained same level as common treatment, which do not cause much pollution to lobster. This study is response to national agricultural policy on fertilizer saving and soil remediation in China and it is a new model for paddy-lobster farming.

## Keywords

Paddy, Small Lobster, Fertilizer, LISA Consortium, Yangtze University

# 新型高效肥料对稻虾共作水稻生长和品质影响

林胜杰<sup>1</sup>, 王 振<sup>1</sup>, 吴展才<sup>2</sup>, 田小海<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>中国湖北省荆州市长江大学农学院, 湖北 荆州

<sup>2</sup>马来西亚低投入可持续农业发展联盟, 马来西亚 吉隆坡

Email: \*xiaohait@sina.com.cn

收稿日期: 2020年4月1日; 录用日期: 2020年4月21日; 发布日期: 2020年4月28日

\*通讯作者。

## 摘要

马来西亚低投入可持续发展联盟和湖北长江大学作研究, 新型沸石肥料对稻虾养殖对水稻生长、产量、水质和水稻品质的影响。实验结果表明, 处理组水稻的叶片SPAD (叶绿素), 分蘖数和LAI (叶面积) 都较常规高, 且在产量、千粒重、出米率、精米率均较常规肥处理高。在水田水质方面, 样品pH变化较小。氮氮含量变化趋势不同肥料处理下基本一致, 无显著差异, 对水生物污染无重大污染顾虑。本研究成果能响应国家节肥减氮政策, 同时适应当地政策, 为稻虾互作模式提供新思路。

## 关键词

水稻, 小龙虾, 肥料, LISA联盟, 长江大学

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

水田作物与龙虾、虾、鱼等水产动物养殖混养模式十分普遍。其中, 水稻种植与克氏螯虾(*Procambarus clarkii*)共作形成的稻虾共作模式是稻田常见的种养模式之一[1]。全国范围内适宜稻虾共作的面积占现有稻田总面积的 15%, 具有较大的发展潜力。近年来, 以湖北省稻虾共作发展最为迅速, 面积大, 技术也较为成熟, 并形成了“潜江模式”。稻虾共作模式不仅具有极高的经济效益, 相比传统种稻模式, 该模式还可以改善土壤结构, 增加土壤养分[2]。在湖北潜江、荆州等地大力推广, 种养面积不断扩大。而此种种养模式也存在问题, 龙虾是稻虾模式的主要经济来源, 于是养殖户普遍存在重虾轻稻的思想, 稻谷的产量急剧下降, 存在粮食产量和安全的风险。而养殖户担心的主要问题之一是化肥的施用可能会对龙虾的生长产生不利的影响[3]。

马来西亚低投入可持续发展联盟(Low Input Sustainable Agriculture Consortium, LISA), 与长江大学农学院合作研究新型沸石肥料在江汉平原稻虾互作模式下进行一次性施肥, 探究新型沸石肥料在稻虾互作模式下, 对水稻产量、食味品质的影响。探究新型沸石控释肥料在稻虾互作环境中对稻田水质、土壤环境的影响, 响应国家节肥减氮政策, 同时适应当地政策, 为稻虾互作模式提供新思路。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 材料

使用到稻米品种为锡利贡米, 在荆州当地生育期约 130 天, 小龙虾使用的是克氏原螯虾。

### 2.2. 试验期间的气候特征

试验播种时期最低和最高气温为 22℃~33℃, 晴到多云, 东南风 3 级。水稻分蘖期气温大致不变, 转小到中雨。灌浆到成熟期日温仍维持 33℃以上, 最低温降至 14℃~15℃。

### 2.3. 方法

#### 2.3.1. 田区处理

田块总面积为  $57.8 \times 12 = 693.6 \text{ m}^2$ , 试验区所占面积为  $50 \times 10 = 500 \text{ m}^2$ , 其余部分均为保护行。每

小区面积  $5 \times 10 = 50 \text{ m}^2$ ，用复合塑料挡板将每小区单独围住，小区内设宽 0.5 m 深 0.4 m 的沟，于投放小龙虾后适当种植热季草(轮叶黑藻、苦草)。试验共 5 个处理，每个处理分二次重复，共 10 个小区，在田间采用完全随机区组排列。试验所有小区占地纯面积为  $500 \text{ m}^2$ 。试验于 6 月 23 日移栽，株 A 行距为  $25 \text{ cm} \times 25 \text{ cm}$ 。每行 17 穴，每列 37 穴，每个小区  $17 \times 37 = 629$  穴，每亩 1.2 万穴，试验采用三本栽。

### 2.3.2. 水稻种子处理

准备锡利贡米种子 1.5 kg，于 5 月 28 日浸种，浸种三天，每天 9:00 AM 和 7:00 PM 换水。取出放入托盘，用湿毛巾包严实，再放入  $35^\circ\text{C}$  烘箱催芽。并于 6 月 2 日催好芽。秧龄 20 天，6 月 21 日打田，安装隔板并施肥，于 6 月 25 日移栽。

### 2.3.3. 肥料指标及施用方法

如表 1，实验组为马来西亚进口复合肥绿丰®水稻肥营养物含量比例为 NPK: 20-15-10-MgO，普通复合肥营养物含量比例为 NPK: 22-8-12；所有肥料都以纯氮素 10 公斤/亩和 8 公斤/亩为基准。每小区单独用隔板围住，预先称好每小区的肥料用量。普通复合肥处理的肥料用量为 1.96 kg、2.45 kg。绿丰®水稻复合肥处理用量分别为 2.16 kg、2.70 kg，所有肥料一次性做基肥施用。

**Table 1.** List of test fertilizer types

**表 1.** 试验肥料种类表

肥料种类	代号
绿丰®水稻肥复合肥(纯氮 10 kg)	F10
绿丰®水稻肥复合肥(纯氮 8 kg)	F8
普通复合肥(纯氮 10 kg)	P10
普通复合肥(纯氮 8 kg)	P8
不施肥处理	CK

### 2.3.4. 水稻试验时期

水稻试验时期如下表 2 所示。

**Table 2.** Timetable of rice growth stages

**表 2.** 水稻各生育期时间表

播种期	分蘖期	抽穗期	灌浆期	成熟期
6 月 2 日	7 月 11 日	9 月 8 日	9 月 25 日	10 月 8 日

### 2.3.5. 克氏原螯虾养殖

在分蘖期晒田结束后，每个小区投放选人工繁殖的种苗 430 尾每尾 5~10 g 的克氏原螯虾幼苗(雌雄比 2~3:1 雌性: 310 雄性: 120)，同时投放 300 个田螺。观察水质变化，当稻田蓝藻等藻类过度生长时及时换水，换水方式用套管将水放入小区，在小区另外一侧正常水位开口用纱网封口防止龙虾逃逸。每月补投水草两次，每小区投 5 kg 水草。

### 2.3.6. 测量方法

#### 1) 水稻分蘖动态

自分蘖始期开始数分蘖，每个小区挂牌定点 10 株，每隔 5 d 进行 1 次茎蘖数调查，直到抽穗后茎蘖稳定为止。直接测定法：水稻进入分蘖普遍期后，每 5 天测密度一次，将测定结果记入观测簿的密度记

录栏, 并对记录进行动态分析, 以植株密度增加最多的观测日确定为分蘖盛期, 以密度值达到观测水稻品种的亩有效穗数的观测日定为有效分蘖终止期, 同时该日也是结束分蘖动态观测的标志。

#### 2) 水稻叶片叶绿素含量动态

于分蘖期开始每 5 d 用 SPAD 仪测定叶片叶绿素含量, 直到成熟期(9 月 27 日结束)为止。每个小区随机取 6 株水稻的剑叶, 并在剑叶上取上中下三个点, 用 SPAD 仪测定三个点叶绿素含量, 取三个点求得平均值作为一次指标数据。

#### 3) 叶面积指数动态

于分蘖期开始每 5 d 在每小区中部, 随机取 6 株用速测仪测定其叶面积指数, 直到成熟期(9 月 27 日结束)为止。

#### 4) 水稻干物质及干物质动态

分别在抽穗期(9 月 10 日)、成熟期(9 月 25 日)每小区抽取 5 穴样品, 挂牌后带回分选室当天内分选完毕, 将每小区水稻穗叶茎分别剪下放入信封袋写上标记, 放入烘箱在 105℃ 下杀青 30 min, 之后将样品 60℃ 烘干 48 h, 其失去的重量即为水分的重量, 剩余的重量即为干物质的量。之后用电子秤称量其干物质质量。

#### 5) 水样指标

播种后每隔 5 d 到田间使用 ZPY-1 型水质采样器取水样 500 ml 带回实验室测量以下指标。

### 2.3.7. pH 值

将取样后的水, 置小烧杯中, 先用邻苯二甲酸氢钾标准缓冲液校正仪器后, 用供试液淋洗电极数次, 将电极浸入供试液中, 轻摇供试液平衡稳定后, 进行读数。

### 2.3.8. 水样氨氮含量

Smart Chem 200 全自动间断化学分析仪; 分析天平: 分度值为 0.1 mg; 0.45 μm 滤膜过滤装置; 超纯水, 针洗液: 1 mL 针洗液溶解于 2000 mL 蒸馏水中, 摇匀; 氨氮标准溶液: 500 mg/L, 临用前稀释至 2 mg/L。

### 2.3.9. 水稻食味品质

材料收获后进行干燥处理, 水分达到 14.5% 时, 使砻谷机去糙, 使用精米机磨成精米, 精糙比统一控制在 90%, 然后根据不同仪器对试样的要求分别制样。对锡利贡米使用颗粒评定仪测定稻米外观, 使用水稻食味计测定稻米成分。

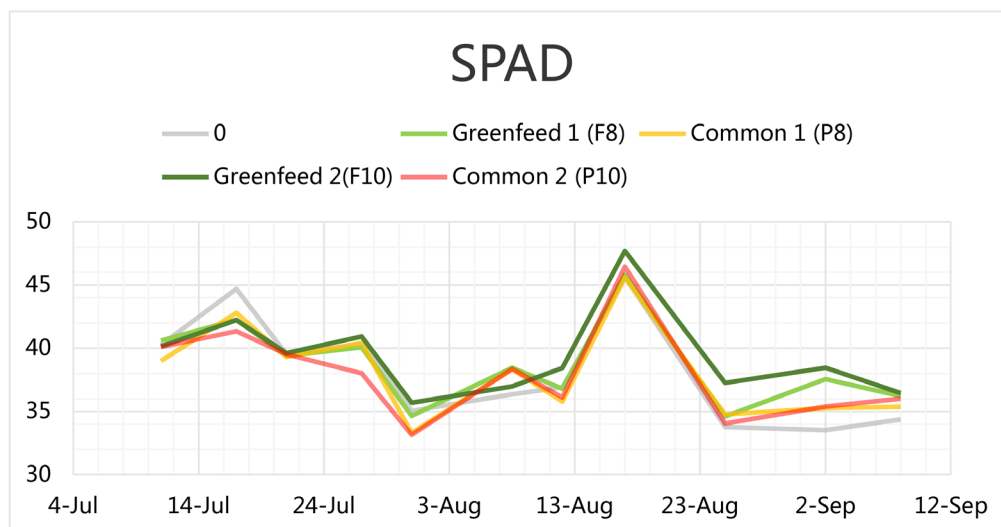
### 2.3.10. 数据分析方法

本实验数据使用 dps 数据分析系统进行假设检验数据分析。

## 3. 结果与讨论

### 3.1. 不同肥料处理下水稻剑叶 SPAD 值动态

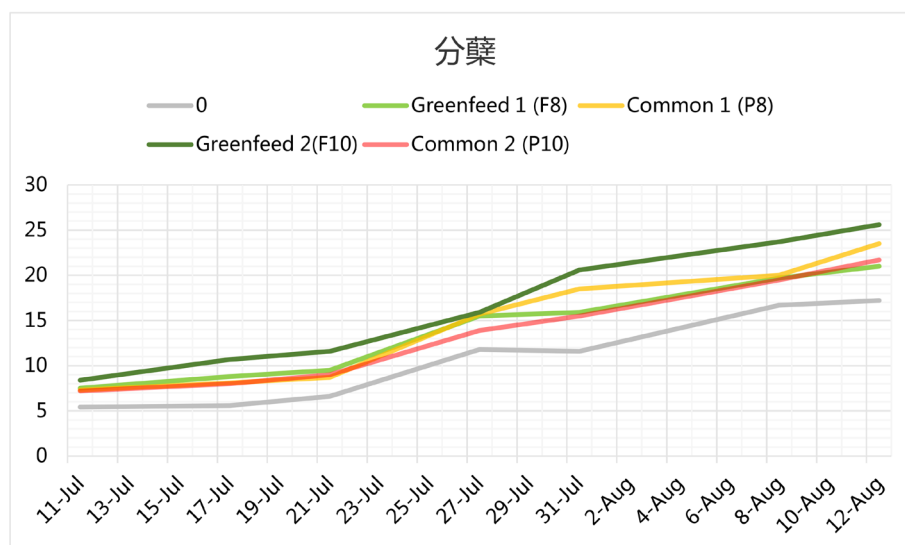
SPAD 值是衡量叶绿素相对数量的指标。由图 1 可知, 剑叶 SPAD 值的发展在植株生长周期中, 随稻体生理过程出现有节律的变化, 不同肥料处理下 SPAD 值基本呈现大致相同的趋势。8 月 17 日所有处理 SPAD 值均达到最高, 其中, 最高是 F10, 为 47.69, 其次是 P10 和 0, 分别为 46.44 和 45.65。在水稻灌浆至成熟阶段, F8 和 F10 的 SPAD 值均高于 P10、P8、0。F10 在生长后期有较高叶绿素含量。但是也容易出现水稻贪青晚熟的现象。不同施氮量有助于水稻分蘖的发展, 能使植株达到较高 SPAD 水平, 相同施氮量条件下, 大力丸处理 SPAD 值要高于普通肥料处理。



**Figure 1.** SPAD readings from different treatments during experiment period  
**图 1.** 不同肥料处理下水稻剑叶 SPAD 值动态

### 3.2. 不同肥料处理下水稻分蘖动态

由图 2 可知, 不同肥料处理下单位面积的水稻分蘖数呈大致相似的发展动态。7 月 27 日分蘖盛期各处理间分蘖数差异不显著。8 月 12 日分蘖末期, F10 分蘖数显著高于其余处理, 其他处理间无显著性差异。整体来看, 不同施氮量有助于水稻分蘖的发展, 能使植株达到较高分蘖水平, 相同施氮量条件下, 大力丸处理分蘖要高于普通肥料处理。



**Figure 2.** Tiller number from different treatments during experiment period  
**图 2.** 不同肥料处理下水稻分蘖动态

### 3.3. 不同肥料处理下水稻叶面积指数动态

由图 3 可知, 在不同肥料处理下 LAI 变化的趋势大致相同, 整体呈现先持续上升后趋于平缓的趋势, 不同肥料处理对水稻 LAI 的影响不显著。水稻 LAI 在 7 月 31 日至 8 月 16 日增长最快, 在 8 月 19 日至 9

月3日基本上不增长,有下降趋势。在分蘖稍后的8月18日所有处理 LAI 达到最大值,其中, F8 最高,为 5.13,其次是 F10 和 P10,分别为 4.77 和 4.6。从总体数据反应可知,不同施氮量有助于叶面积指数的提高,同施氮量下各处理间 LAI 值无显著差异或仅存微小差异。

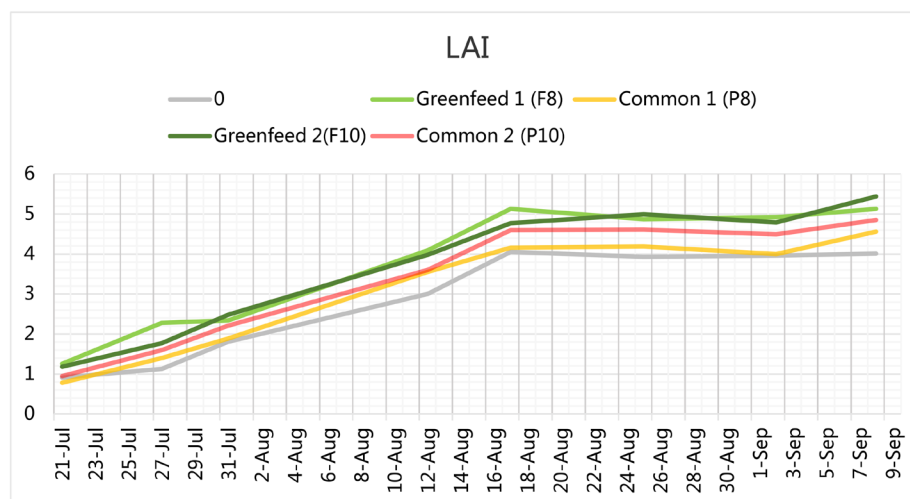


Figure 3. LAI reading from different treatments during experiment period

图 3. 不同肥料处理下水稻叶面积指数动态

### 3.4. 水稻品质

#### 3.4.1. 产量

水稻产量是衡量大田栽培的关键性指标,本次试验中,大力丸相较于未施肥处理增产 32.3%在 5%水平上具有显著差异(表 3)。千粒重是以克表示的一千粒稻谷的重量,以 g 为单位。一般都以风干状态的种子计量。它是体现种子大小与饱满程度的一项指标,本次试验中大力丸 F10 千粒重显著高于未施肥处理。精米指的是净稻谷经实验砻谷机脱壳成糙米,糙米经实验碾米机碾磨成加工精度为国家标准三级(GB1354)大米的比率。大力丸 F10 处理与未施肥处理精米率 5%水平上显著高于其他处理。

Table 3. Paddy yield and quality

表 3. 水稻产量指标

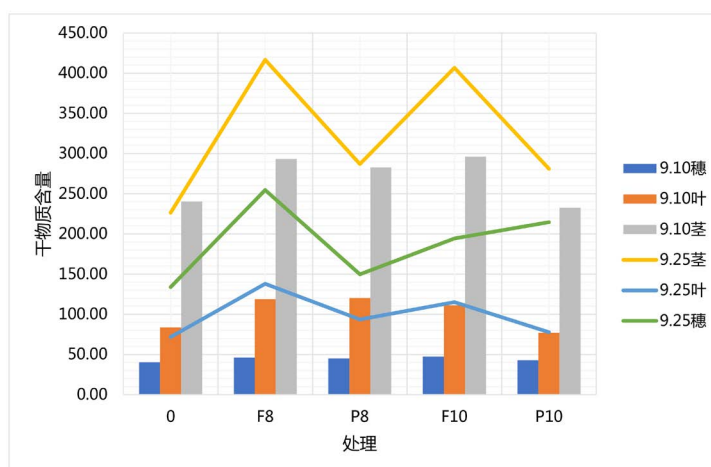
名称	水稻产量指标			
	水稻产量	千粒重	出米率	精米率
0	17 ± 1.2b	21.32 ± 0.3b	0.7839 ± 0.005b	0.6815 ± 0.009ab
F8	22.5 ± 0.6a	22.44 ± 0.33a	0.7856 ± 0.002b	0.6757 ± 0.001b
P8	20.5 ± 0.3a	22.35 ± 0.23a	0.7841 ± 0.005b	0.6743 ± 0.006b
F10	21.2 ± 0.2a	22.575 ± 0.62a	0.7943 ± 0.004a	0.6872 ± 0.005a
P10	21 ± 0.2a	22.39 ± 0.34a	0.7875 ± 0.004ab	0.6754 ± 0.001b

曹等(2017) [4]研究指出,稻虾共作显著降低了稻米的垩白粒率和垩白度,和本研究相同,改善了稻米的外观品质。另外,由于小龙虾属于杂食性动物,可以杂草和虫为食,某种程度上可防除杂草和降低虫害,具有减少化肥农药使用,显著提高稻米的市场价值。



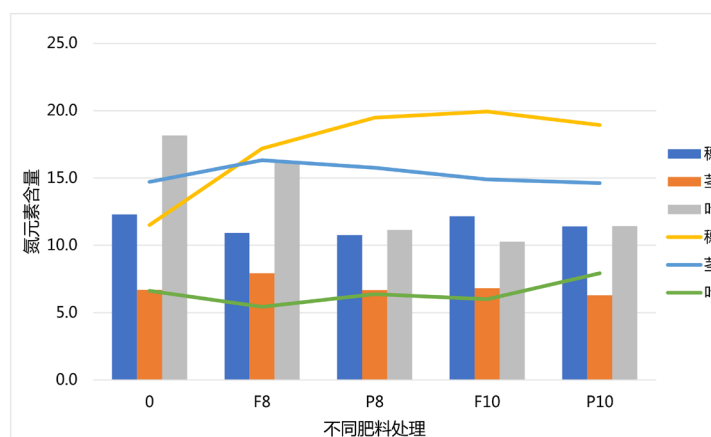
### 3.4.2. 水稻干物质含量

由图 4 可知, 水稻干物质随着生育期的增长所有处理都呈现增长趋势, 不同肥料处理下单位面积的水稻干物质含量呈大致相似的发展动态。所有处理中, 大力丸 F8F10 处理相较于相同施肥量的普通处理, 干物质含量显著高于普通肥料处理。且在抽穗后 15 日大力丸 F8、F10 处理叶片干物质含量也较高, 说明大力丸在灌浆期拥有较高的光合能力。水稻茎秆氮元素含量中且在抽穗后 15 日大力丸 F8、F10 处理水稻干物质含量显著高于相同施肥量其他处理, 说明大力丸在抽穗后具有较强的细胞活力, 抗逆境抗倒伏能力较强。



**Figure 4.** Dried matter accumulation of paddy from different treatments during experiment period  
**图 4.** 不同肥料处理下水稻干物质含量

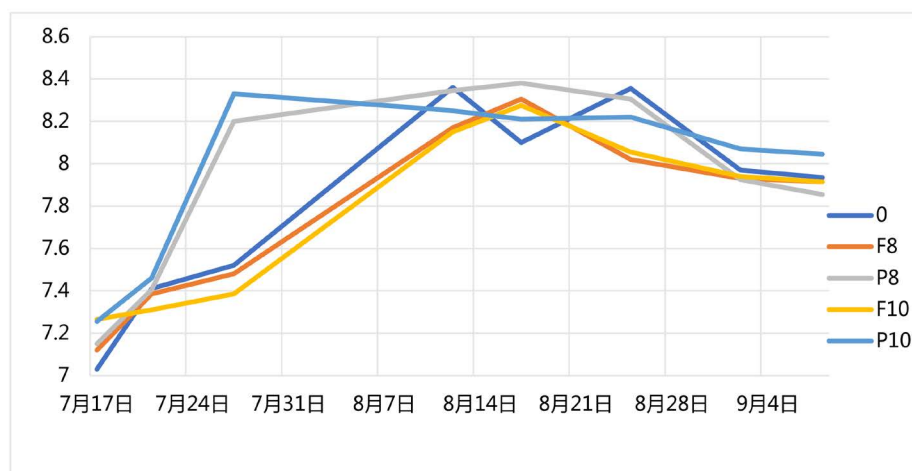
不同时期氮含量变化, 可以反应氮元素在植物体内的转运, 由图 5 可知, 不同肥料处理下, 随着生育期的增长, 穗部氮元素含量增大, 符合客观规律。



**Figure 5.** Nitrogen accumulation of paddy from different treatments during experiment period  
**图 5.** 不同肥料处理下氮素含量

### 3.5. 不同肥料处理下水样 pH 值

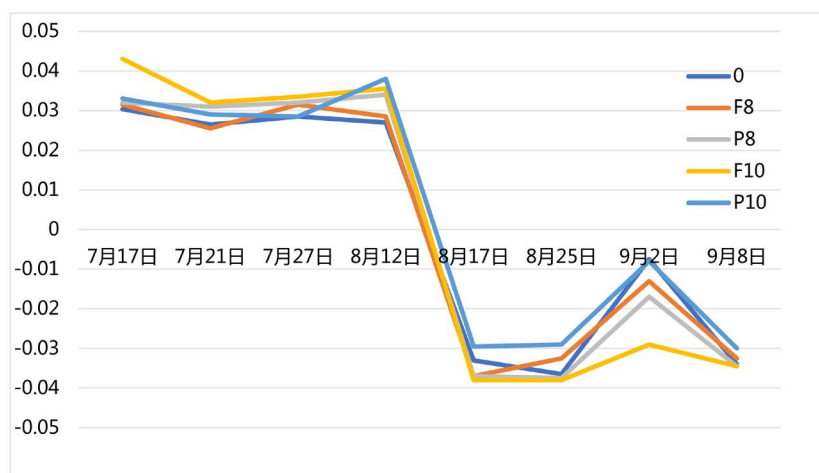
水稻是喜酸性作物, 在水稻生长过程中, 施用肥料将提高水样 PH 值, 对水稻的生长有一定负面作用, 不利于肥料的吸收利用, 同时, 对于小龙虾的生长, 过高或者过低的 pH 也不利于龙虾的存活。本次试验检测的水样 pH 值(图 6)中可以观察到大力丸肥料对于水质的净化有明显的效果。



**Figure 6.** Water pH of paddy field from different treatments during experiment period  
**图 6.** 不同肥料处理下水质 pH 值变化

### 3.6. 不同肥料处理下水样氨氮含量

稻田水体中主要以硝酸盐氮( $\text{NO}_3^-$ )为主,以游离氨( $\text{NH}_3$ )和铵离子( $\text{NH}_4^+$ )形式存在的氮受污染水体的氨氮叫水合氨,也称非离子氨。非离子氨是引起水生生物毒害的主要因子,而铵离子相对基本无毒。国家标准III类地面水,非离子氨氮的浓度 $\leq 1$ 毫克/升。氨氮是水体中的营养素,可导致水富营养化现象产生,是水体中的主要耗氧污染物,对鱼类及某些水生生物有毒害。由图可发现,大致水样氨氮含量变化趋势不同肥料处理下基本一致,无显著差异(图 7)。



**Figure 7.** Ammonia nitrogen of paddy field from different treatments during experiment period  
**图 7.** 不同肥料处理下水质氨氮含量

## 4. 结论

绿丰®水稻肥在水稻等其他作物均已实践提质增收等的效果[5] [6]。本研究中,绿丰处理(F8, F10)在水稻的叶片 SPAD(叶绿素),分蘖数和 LAI(叶面积)都较常规高。绿丰处理 F8, F10 在产量、千粒重、出米率、精米率均较常规肥处理高。尤其是 F10 处理均有 5% 显著差异。抽穗后 15 日绿丰 F8、F10 处理叶片干物质含量较高,说明绿丰肥在灌浆期拥有较高的光合能力。水稻茎秆氮元素含量中且在抽穗后 15



日 F8、F10 处理水稻干物质含量显著高于相同施肥量其他处理,说明实验观察在抽穗后具有较强的细胞活力,抗逆境抗倒伏能力较强。绿丰处理 F8、F10 的水质样品 pH 变化较小。绿丰处理水样氨氮含量变化趋势不同肥料处理下基本一致,无显著差异,对水生物污染无重大污染顾虑。此外,小龙虾在生长过程中排泄的粪便和掘洞行为能改变土面下 20~40 公分的团粒结构从而改善土壤理化性状[7],使土壤可持续利用提高。

## 参考文献

- [1] 倡国涵,彭成林,徐祥玉. 稻虾共作模式对涝渍稻田土壤理化性状的影响[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(1): 61-68.
- [2] 朱杰,刘海,吴邦魁,袁峰,刘章勇,金涛. 稻虾共作对稻田土壤 *nirK* 反硝化微生物群落结构和多样性的影响[J]. 中国生态农业学报, 2018, 26(9): 1324-1332.
- [3] 石梦龙,王少斌. 稻虾共作养殖技术分析[J]. 江西水产科技, 2018(3): 1006-3188.
- [4] 曹凑贵,江洋,汪金平,袁鹏丽,陈松文. 稻虾共作模式的“双刃性”及可持续发展策略[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(9): 1245-1253.
- [5] 吴展才,吴思节, Aziz, M.A.A., 陈宥维. 新型缓释肥料对香蕉叶片营养、光合速率、叶绿素含量、产量和果实质量的效益[J]. 农业科学, 2016, 6(3): 49-56.
- [6] 吴展才,吴思节, Aziz, M.A.A., Khairuddin, M.I., 陈宥维. 新型含硅型沸石肥料对水稻采收质量和产量的效益[J]. 农业科学, 2016, 6(3): 79-86.
- [7] 蔡晨,李谷,朱建强,彭亮,李继福,吴启侠. 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.