

# 秸秆全量还田增施氮肥对旱改水田水稻生长的影响

刘海东<sup>1,2</sup>, 陈庆政<sup>1,2</sup>, 黎淳锋<sup>1,2</sup>, 黎华<sup>1,2</sup>, 叶万余<sup>1,2</sup>, 吴春玲<sup>1,2\*</sup>

(1. 贺州市农业科学院, 广西贺州 542800; 2. 广西农业科学院贺州分院, 广西贺州 542813)

**摘要** 探究秸秆全量还田增施氮肥对旱改水田水稻生长的影响, 旨在找到合理的氮肥施用量, 为旱改水田水稻高产优质栽培技术提供理论支持。试验前茬水稻秸秆机械粉碎全量还田后减量施用缓释复合肥 600 kg/hm<sup>2</sup> (常规用量 750 kg/hm<sup>2</sup>) 和增施不等量尿素, 设置 4 个尿素增施梯度分别为 75、150、225、300 kg/hm<sup>2</sup>, 以不增施尿素为对照, 肥料和秸秆同时翻入土中, 后期无追肥, 采用随机区组设计。结果表明, 随着氮肥施用量的增加, 水稻生育期株高和叶面积也增加, 叶片过氧化物酶活性先增加后下降, 叶片丙二醛含量先下降后上升。增施氮肥能够提高水稻单位面积有效穗数、每穗粒数、结实率、水稻籽粒蛋白质含量, 垩白度降低。以增施 225 kg/hm<sup>2</sup> 尿素最佳, 有利于水稻生长和产量、品质的提高。

**关键词** 秸秆; 氮肥; 酶活性; 产量; 品质

中图分类号 S511 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2023)24-0162-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2023.24.036



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

## Effects of Total Straw Returning and Nitrogen Fertilizer Application on Rice Growth in Dry Land to Paddy Field

LIU Hai-dong<sup>1,2</sup>, CHEN Qing-zheng<sup>1,2</sup>, LI Chun-feng<sup>1,2</sup> et al (1. Hezhou Academy of Agricultural Sciences, Hezhou, Guangxi 542800; 2. Hezhou Branch of Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Hezhou, Guangxi 542813)

**Abstract** The experiment was conducted to explore the effect of total straw returning and increasing nitrogen fertilizer application on rice growth in dryland to paddy fields, in order to find a reasonable amount of nitrogen fertilizer application to provide theoretical support for high-yield and high-quality cultivation techniques of rice in dryland to paddy fields. In the experiment, the mechanical crushing of the fore crop of rice straw was returned to the field and reduce the application of compound slow release fertilizer 600 kg/hm<sup>2</sup> (conventional dosage 750 kg/hm<sup>2</sup>) and increase the application of unequal amount of urea. Four urea application gradients were set up to 75, 150, 225, 300 kg/hm<sup>2</sup> respectively and no urea was used as a control. The fertilizer and straw were turned into the soil at the same time and there was no top dressing in the later stage. The randomized block design was used. With the increase of nitrogen fertilizer application, plant height and leaf area index were also increased, peroxidase activity in leaves increased first and then decreased and malondialdehyde content in leaves decreased first and then increased during rice growth period. Increasing nitrogen fertilizer could increase effective panicles per unit area, grains per panicle, ripening percentage, rice grain protein and reduce chalkiness. The results showed that 225 kg/hm<sup>2</sup> urea was the best, which was beneficial to the growth, yield and quality of rice.

**Key words** Straw; Nitrogenous fertilizer; Enzymatic activity; Yield; Quality

随着国家城镇化的逐步推进, 农用地急剧减少, 为保证农业用地面积和粮食安全, 国家提出“占一补一、占优补优、占水田补水田”的政策要求<sup>[1]</sup>, 各地区政府积极采取有效措施, 大力推进耕地提质改造(旱改水)项目。旱改水后期对耕地质量的提升是一个系统性工程, 其中土壤结构及养分的调节尤为重要。研究表明, 施用生物有机肥配合深耕深松技术可以改变土壤团粒结构和土壤酶活性, 增加土壤透气性和保水、保肥、保温的能力<sup>[2-3]</sup>。提高土壤中有机质含量是培肥地力的重要措施, 而农业生产中秸秆作为重要的副产品其腐熟后含有大量的有机质和氮、磷、钾、微量元素等营养物质是作物能够直接吸收利用的<sup>[4]</sup>。以前农民为了农事操作方便都是通过焚烧的手段处理秸秆, 这样不但污染空气而且还会因雨水冲刷和地表径流的作用导致农田养分流失严重养分利用效率不高, 污染河流湖泊威胁生态平衡<sup>[5]</sup>。近几年针对旱改水田土壤肥力问题栽培学者提出作物秸秆还田理论作为保护性耕作模式进行大力推广, 不仅节省人工而且起到蓄

水保墒、培肥地力的作用, 不再受焚烧秸秆带来的空气污染和水污染问题困扰<sup>[6]</sup>。但随着研究的深入, 秸秆还田腐解过程中会产生大量的微生物, 这些微生物以碳为能源, 以氮为养分, 微生物暴增必然导致土壤中碳和氮比例失调, 其会吸收土壤中的氮素作为补充, 从而造成微生物和作物共同争夺氮元素的局面<sup>[7-8]</sup>。水稻田的表现为分蘖期水稻苗弱、黄叶、不齐等。为了缓解这一现象早期增施氮肥尤为重要, 不但能够加速秸秆腐解而且能够保证作物前期氮素需求。笔者在秸秆全量还田的前提下探究增施氮肥对旱改水田水稻生长的影响, 旨在找到合适的氮肥施用量达到改善耕地质量目的, 同时为旱改水田水稻高产栽培技术提供理论支持。

## 1 材料与方法

**1.1 试验材料** 选用华南地区传统种植的优质早晚兼用籼型常规水稻马坝油占为材料, 供试氮肥为普通尿素, 含氮量 46%。

**1.2 试验设计** 试验于 2021 年秋季在贺州市八步区信都镇狮峰村耕地提质改造(旱改水)项目基地进行, 试验地为砂壤土, 春季种植水稻。秋季水稻种植前要求单位面积水稻秸秆全量还田, 秸秆机械粉碎处理长度控制在 10 cm 左右, 收割完成后人工挑均匀秸秆使其覆盖整个田块, 提前做好小区, 田埂用塑料薄膜覆盖, 两侧踩实防止小区间漏水漏肥。翻耕前每个小区均匀撒施等量的缓释三元(N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=15:

**基金项目** 贺州市农业科学院基层农业技术推广服务能力提升专项; 贺州市科学与技术开发计划项目(贺科技 2021046); 广西科技基地和人才专项(桂科 AD22080066)。

**作者简介** 刘海东(1989—), 男, 安徽潜山人, 农艺师, 硕士, 从事作物栽培生理研究。\* 通信作者, 高级农艺师, 从事作物栽培与育种研究。

**收稿日期** 2022-12-19

15:15) 复合肥 600 kg/hm<sup>2</sup> (常规用量为 750 kg/hm<sup>2</sup>) 和增施不等量的尿素, 采用小型耕地机械一同翻入土中灌水腐熟 10 d。设置 4 个尿素增施梯度分别为 75、150、225、300 kg/hm<sup>2</sup>, 记为 T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub>, 以不增施尿素为对照, 记为 CK。采用随机区组设计, 重复 3 次, 共 15 个小区, 每个小区面积为 60 m<sup>2</sup>, 长 15 m、宽 4 m。水稻株行距为 12 cm×30 cm, 7 月 20 日播种, 11 月 10 日收获, 每穴单株种植, 肥料一次性施入, 后期无追肥, 田间管理参照大田生产。

### 1.3 测定指标与方法

**1.3.1 植株形态指标。**在分蘖期、拔节期、抽穗期、成熟期每个小区取生长较为一致的水稻植株 10 穴, 测定水稻株高, 利用叶面积扫描仪测定全株叶片面积, 计算出叶面积指数。

**1.3.2 叶片生理指标。**在分蘖期、拔节期、抽穗期、成熟期天气晴朗的 08:00 左右, 每个小区取生长较为一致的完全舒展的水稻植株剑叶 20 片, 放入冰盒中带回实验室后放入 -80 ℃ 超低温冰箱冷藏, 测定水稻叶片过氧化物酶活性<sup>[9]</sup> 和丙二醛含量<sup>[10]</sup>。

**1.3.3 测产、考种。**测产采用 5 点取样法, 每个点 2 m<sup>2</sup> 数有效穗数, 成熟期每个小区取 10 穴带回实验室自然晾干数每穗粒数、计算结实率、测定千粒重, 每个小区水稻全部收获晾干后称重。

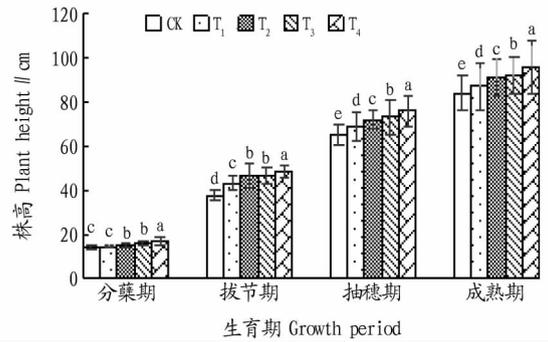
**1.3.4 品质指标。**将收获后晾干的稻谷储藏 90 d 脱壳, 利用近红外谷物分析仪 (FOSS Infratec TM 1241 Grain Analyzer) 测定糙米率、精米率、整精米率、蛋白质、直链淀粉、垩白度。

**1.4 数据分析** 利用 Office 365 软件进行数据整理和制表、制图, SPSS 26.0 软件对数据进行统计分析, 采用最小显著差异法 (LSD) 在 5% 显著水平下进行方差分析 (用小写字母表示)。

## 2 结果与分析

**2.1 秸秆全量还田增施氮肥对旱改水田水稻植株形态特征的影响** 图 1 表明, 随着生育期的推进水稻株高逐步增加, 4 个时期均以 T<sub>4</sub> 处理显著高于其他处理, CK 处理的株高最矮。在分蘖期 CK、T<sub>1</sub> 处理间差异不显著; 在分蘖期和拔节期 T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub> 处理间差异不显著, 但显著高于 CK 和 T<sub>1</sub> 处理; 抽穗期和成熟期各处理株高变化规律基本一致, 相互间比较差异达显著水平; 成熟期 T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub> 处理与 CK 相比较株高增加了 3.46%、8.22%、8.92%、14.14%。图 2 表明, 水稻叶面积指数在全生育期呈先上升后下降的趋势, 在抽穗期达到最高, 4 个时期中均以 T<sub>4</sub> 处理显著高于其他处理, 且 T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub> 处理间差异不显著。在分蘖期 CK、T<sub>1</sub> 处理间差异不显著; 后 3 个时期各处理水稻叶面积指数变化规律一致; 成熟期 T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub> 处理与 CK 相比较叶面积指数增加了 6.07%、14.97%、16.27%、22.34%。

**2.2 秸秆全量还田增施氮肥对旱改水田水稻叶片过氧化物酶活性的影响** 图 3 表明, 水稻叶片过氧化物酶 (POD) 活性在 4 个生育期呈先上升后下降的趋势, 抽穗期 POD 活性最强, 成熟期 POD 活性最弱, 除拔节期外 T<sub>3</sub> 处理显著高于其他处理。在分蘖期各处理间差异达显著水平; 拔节期 T<sub>2</sub> 和 T<sub>3</sub> 处理, T<sub>1</sub> 和 T<sub>4</sub> 处理间比较差异不显著; 抽穗期和成熟期

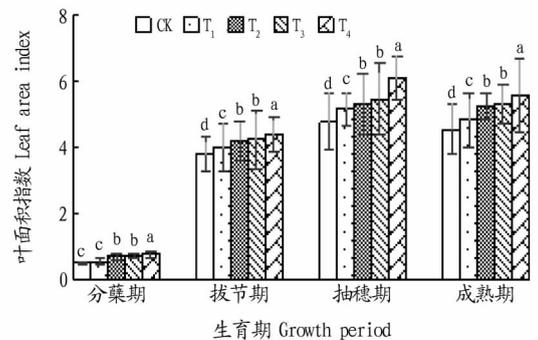


注: 不同小写字母表示同一生育期不同处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Note: Different lowercases indicated significant difference between different treatments in the same growth period at 0.05 level.

图 1 秸秆全量还田增施氮肥对旱改水田水稻株高的影响

Fig.1 Effect of total straw returning and increasing nitrogen fertilizer on rice plant height in dryland to paddy field



注: 不同小写字母表示同一生育期不同处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Note: Different lowercases indicated significant difference between different treatments in the same growth period at 0.05 level.

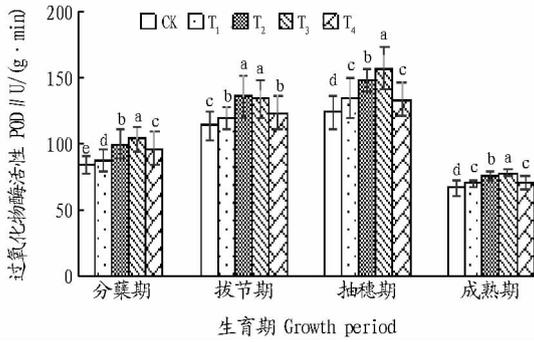
图 2 秸秆全量还田增施氮肥对旱改水田水稻叶面积指数的影响

Fig.2 Effects of total straw returning and increasing nitrogen fertilizer on rice leaf area index in dryland to paddy field

各处理 POD 活性变化规律基本一致, T<sub>1</sub>、CK 处理间差异显著; 成熟期 T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub> 处理与 CK 相比较 POD 活性增加了 5.20%、13.15%、16.97%、6.87%。

**2.3 秸秆全量还田增施氮肥对旱改水田水稻叶片丙二醛含量的影响** 图 4 表明, 水稻叶片丙二醛 (MDA) 含量全生育期中成熟期达到最高, CK 处理 MDA 含量显著高于其他处理。分蘖期 T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub> 处理显著低于其他处理, T<sub>1</sub>、T<sub>4</sub> 处理间差异不显著; 拔节期和抽穗期 T<sub>3</sub> 处理显著低于其他处理, T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub> 处理间差异不显著, 但显著低于 CK 和 T<sub>4</sub> 处理; 成熟期 T<sub>1</sub>、T<sub>4</sub> 处理间差异不显著但显著高于 T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>, 成熟期 T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub> 处理与 CK 相比较 MDA 含量下降了 3.79%、4.47%、8.92%、4.79%。

**2.4 秸秆全量还田增施氮肥对旱改水田水稻产量构成的影响** 表 1 表明, 单位面积有效穗数 T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub> 处理间差异不显著但显著高于其他处理, CK 处理显著低于其他处理; 每穗总粒数 T<sub>3</sub> 处理显著高于其他处理, T<sub>2</sub>、T<sub>4</sub> 处理间差异不显著但显著高于 CK 和 T<sub>1</sub> 处理; 结实率 T<sub>1</sub>、T<sub>4</sub> 处理差异不显著, T<sub>3</sub> 处



注:不同小写字母表示同一生育期不同处理间差异显著( $P < 0.05$ )。

Note: Different lowercases indicated significant difference between different treatments in the same growth period at 0.05 level.

图3 秸秆全量还田增施氮肥对旱改水田水稻叶片过氧化物酶(POD)活性的影响

Fig.3 Effects of total straw returning and increasing nitrogen fertilizer on peroxidase activity of rice leaves in dryland to paddy field

理显著高于其他处理;千粒重各处理有差异但未达显著水平;产量各处理间差异达显著水平且均高于CK,实际产量

表1 秸秆全量还田增施氮肥对旱改水田水稻产量构成的影响

Table 1 Effects of total straw returning and increasing nitrogen fertilizer on rice yield components in dryland to paddy field

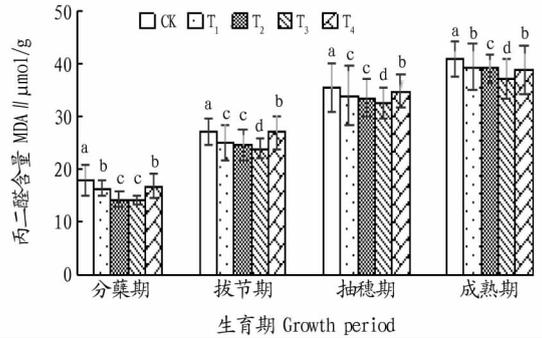
处理 Treatment	单位面积有效穗数 Effective panicles per unit area	每穗总粒数 Number of grain per spike	结实率 Fruiting rate %	千粒重 Kernel weight g	产量 Yield kg/hm <sup>2</sup>
CK	180.62±21.69 d	95.13±12.28 d	88.28±2.65 d	18.45±0.56 a	3 073.50±110.76 e
T <sub>1</sub>	186.45±10.86 c	99.68±10.92 c	89.85±1.59 c	18.47±1.10 a	3 158.55±155.96 d
T <sub>2</sub>	200.91±11.02 a	104.24±14.78 b	90.90±1.26 b	18.75±0.65 a	3 362.25±128.43 b
T <sub>3</sub>	211.69±18.29 a	107.91±9.60 a	93.19±3.79 a	19.01±0.29 a	3 494.85±177.23 a
T <sub>4</sub>	198.71±23.62 b	103.54±13.26 b	89.63±2.08 c	18.24±1.18 a	3 176.55±90.36 c

注:同列不同小写字母表示不同处理间 差异显著( $P < 0.05$ )。

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant difference between different treatments( $P < 0.05$ ).

2.5 秸秆全量还田增施氮肥对旱改水田水稻成熟籽粒品质的影响 表2表明,水稻成熟籽粒品质指标糙米率、整精米率均以T<sub>3</sub>显著高于其他处理,T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>处理间差异不显著,CK显著低于其他处理;整精米率T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>、T<sub>4</sub>处理间差异不显著;

T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub>处理与CK相比较增加了2.77%、9.39%、13.71%、3.35%。



注:不同小写字母表示同一生育期不同处理间差异显著( $P < 0.05$ )。

Note: Different lowercases indicated significant difference between different treatments in the same growth period at 0.05 level.

图4 秸秆全量还田增施氮肥对旱改水田水稻叶片丙二醛(MDA)含量的影响

Fig.4 Effects of total straw returning and increasing nitrogen fertilizer on malondialdehyde content in rice leaves in dryland to paddy field

蛋白质含量各处理间差异均达显著水平;直链淀粉T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>处理间差异不显著,CK、T<sub>1</sub>、T<sub>4</sub>间差异不显著;垩白度以CK最高,T<sub>3</sub>处理显著低于其他处理。

表2 秸秆全量还田增施氮肥对旱改水田水稻成熟籽粒品质的影响

Table 2 Effects of total straw returning and increasing nitrogen fertilizer on mature grain quality of rice in dryland to paddy field

处理 Treatment	糙米率 Brown rice rate//%	精米率 Milled rice rate//%	整精米率 Perfect head rice rate//%	蛋白质 Protein %	直链淀粉 Amylose %	垩白度 Chalkiness
CK	75.68±3.46 d	66.27±1.76 d	66.13±4.50 c	7.11±0.36 e	17.30±0.58 b	2.23±0.03 a
T <sub>1</sub>	79.87±5.85 b	72.62±4.63 b	70.37±2.75 b	7.37±0.93 d	17.27±1.09 b	1.77±0.11 c
T <sub>2</sub>	80.82±2.28 b	72.85±3.38 b	71.07±5.36 b	8.81±0.73 b	18.07±1.29 a	1.62±0.02 d
T <sub>3</sub>	83.75±1.07 a	73.76±2.44 a	74.08±4.39 a	9.12±0.34 a	18.11±0.73 a	1.55±0.14 e
T <sub>4</sub>	76.64±3.95 c	68.68±5.34 c	68.29±3.88 b	8.40±0.82 c	17.74±1.48 b	1.84±0.07 b

注:同列不同小写字母表示不同处理间 差异显著( $P < 0.05$ )。

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant difference between different treatments( $P < 0.05$ ).

### 3 讨论

旱地改水田因土壤理化性质发生改变,稻田淹水土壤从好氧变成厌氧,氧化还原电位降低,pH趋向于中性、土壤中化学元素存在的形态也发生变化,不利于水稻生长,出现水

稻颖壳畸形、不扬花结实等现象<sup>[11]</sup>。为保障粮食安全增加耕地数量,为了稳产高产提高耕地质量,改善土地生产条件势在必行<sup>[12]</sup>。针对旱改水土壤贫瘠、酸化等问题,学者利用土壤改良剂(石灰、硅钙钾镁等)和有机肥(绿肥、秸秆、动物

腐熟粪便等)改良土壤<sup>[13]</sup>。随着研究的深入,秸秆还田作为增加土壤有机质的重要措施且操作简单大大节约了人力和物力。但杨滨娟等<sup>[14]</sup>研究表明,秸秆还田后自然腐解较慢水稻很难吸收养分,配合深施氮肥有利于土壤微生物繁殖加快秸秆分解有机质,秸秆还田配施化肥能合理调节土壤温度,显著提高土壤微生物的数量与活性,有利于土壤生态环境的改善,土壤微生物也以氮素为营养高效分解秸秆产生有机物质促进水稻生长及品质形成。氮肥是农业生产上使用量最大的肥料品种,植物生长离不开氮肥<sup>[15]</sup>,宫秀杰等<sup>[16]</sup>认为,秸秆还田配施氮肥能够增加土壤脲酶、土壤过氧化氢酶和土壤蔗糖酶活性。因此保证田间土壤氮素平衡是作物高产优质的关键因素之一<sup>[17]</sup>。随着氮肥施用量的加大植株的生物量也逐步增加,株高和叶面积指数也逐步提高<sup>[18]</sup>,营养元素不均衡会对水稻造成养分胁迫,土壤水分、酸碱度等发生变化<sup>[19]</sup>,植株生理生化也会产生变化,进而导致酶活性降低,细胞过氧化产物增多<sup>[20]</sup>。氮肥过量水稻植株贪青,营养生长期延长,无效分蘖增多,单位面积有效穗数减少,且水稻中后期病虫害加剧,结实率下降。土壤氮素含量影响水稻籽粒品质的形成,氮元素是氨基酸的重要组成元素,氨基酸可以通过脱水缩合反应形成蛋白质,且植株体内活性酶具有蛋白质性质,淀粉合成2个关键酶分别是ADP-葡聚糖焦磷酸化酶和淀粉合成酶<sup>[21]</sup>,因此水稻籽粒直链淀粉含量和垩白度(胚乳中不透明部分所占比例)也随着氮肥施用量发生变化。水氮耦合影响源库分配平衡<sup>[22]</sup>,秸秆还田早期合理增施氮肥对土壤氮素平衡调节起到非常重要的作用,能够加速秸秆腐解和营养物质转化,有利于水稻吸收利用,在生产中是很重要的高产栽培技术手段。

#### 4 结论

旱改水田块前茬水稻收获时秸秆机械同步粉碎全量还田,土地翻耕前减量施用复合肥增施氮肥对水稻生长有影响,随着氮肥增施量的增加,水稻生长4个时期株高和叶面积也增加,叶片过氧化物酶活性先增加后下降,叶片丙二醛含量先下降后上升。合理增施氮肥能够提高水稻单位面积有效穗数、每穗粒数、结实率,能够具有增产的作用,且水稻籽粒蛋白质含量提高,垩白度降低具有提高水稻品质的作

用。在旱改水田块秸秆全量还田早期以增施 225 kg/hm<sup>2</sup> 尿素最佳,有利于水稻生长和产量及品质的提高。

#### 参考文献

- [1] 魏伟,巢佳玲,谢波.永久基本农田占补平衡方法探讨[J].规划师,2019,35(21):38-44.
- [2] 邱尧,刘备,何霖,等.增施生物有机肥对水稻产量和土壤肥力的影响[J].中国农学通报,2020,36(13):1-5.
- [3] 陈婉华,袁伟,王子阳,等.不同耕作方式与秸秆还田对土壤酶活性及水稻产量的影响[J].中国土壤与肥料,2022(7):162-169.
- [4] 王子阳,陈婉华,袁伟,等.长期秸秆还田与耕作方式对水稻产量及品质的影响[J].中国稻米,2021,27(3):17-20,29.
- [5] 程良晓,范萌,陈良富,等.秋季秸秆焚烧对京津冀地区霾污染过程的影响分析[J].中国环境科学,2017,37(8):2801-2812.
- [6] 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.
- [7] 张学林,周亚男,李晓立,等.氮肥对室内和大田条件下作物秸秆分解和养分释放的影响[J].中国农业科学,2019,52(10):1746-1760.
- [8] GUO T F,ZHANG Q,AI C, et al.Nitrogen enrichment regulates straw decomposition and its associated microbial community in a double-rice cropping system[J].Scientific reports,2018,8(1):1-12.
- [9] 王伟玲,王展,王晶英.植物过氧化物酶活性测定方法优化[J].实验室研究与探索,2010,29(4):21-23.
- [10] 赵世杰,许长成,邹琦,等.植物组织中丙二醛测定方法的改进[J].植物生理学通讯,1994,30(3):207-210.
- [11] 闫加力,李慧,熊双莲,等.旱改水对水稻幼苗生长的影响及秸秆的改良作用[J].中国生态农业学报,2015,23(5):554-562.
- [12] 刘正国,游振波,黄俊.江西省旱地改水田土地整治研究:以永丰县瑶田镇湖西村旱改水项目为例[J].安徽农业科学,2015,43(36):185-187,229.
- [13] 李菊,杨永志,甘良,等.土壤改良剂和有机肥对旱改水砖红壤稻田的改良效果[J].中国土壤与肥料,2022(4):91-98.
- [14] 杨滨娟,黄国勤,钱海燕.秸秆还田配施化肥对土壤温度、根际微生物及酶活性的影响[J].土壤学报,2014,51(1):150-157.
- [15] 武良,张卫峰,陈新平,等.中国农田氮肥投入和生产效率[J].中国土壤与肥料,2016(4):76-83.
- [16] 宫秀杰,钱春荣,曹旭,等.玉米秸秆还田配施氮肥对土壤酶活、土壤养分及秸秆腐解率的影响[J].玉米科学,2020,28(2):151-155.
- [17] 肖荣英,王开斌,刘秋员,等.施氮量对水稻产量、氮素吸收及土壤氮素平衡的影响[J].河南农业大学学报,2019,53(4):495-502.
- [18] 周丽燕,黄影华,张善炫,等.不同氮肥调控对水稻分蘖数和叶面积指数的影响[J].湖北农业科学,2020,59(7):33-37.
- [19] 乔帅,王梦姣,邓百万,等.轮作区水稻根际土壤钙镁离子含量、含水量和酸碱度变化趋势[J].江苏农业科学,2017,45(5):284-288.
- [20] 张伟杨.水分和氮素对水稻颖花发育与籽粒灌浆的调控机制[D].扬州:扬州大学,2018.
- [21] 张桂莲,廖斌,武小金,等.高温对水稻胚乳淀粉合成关键酶活性及内源激素含量的影响[J].植物生理学报,2014,50(12):1840-1844.
- [22] 吴龙龙,田仓,张露,等.稻田水氮氧环境因子对水稻生长发育、光合作用和氮利用的调控研究进展[J].应用生态学报,2021,32(4):1498-1508.