

赵子婧,孙建平,戴相林,等. 秸秆还田结合减量施肥对水稻产量和土壤养分的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(10):66-71.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.10.010

# 秸秆还田结合减量施肥对水稻产量和土壤养分的影响

赵子婧,孙建平,戴相林,刘雅辉

(河北省农林科学院滨海农业研究所,河北唐山 063299)

**摘要:**为探明河北滨海稻区水稻秸秆还田条件下,最适的化学肥料施用体系,达到肥料减量和土壤培肥目的。在大田试验条件下,设置不同施肥方案:T1(常规施肥)、T2(减施氮肥 5.74%,减施肥料 19.97%)、T3(减施氮肥 15.02%,减施肥料 25.84%)、T4(减施氮肥 20.88%,减施肥料 34.01%)等 4 个处理,研究秸秆还田结合不同减量化施肥方案对水稻生长发育和产量及土壤养分的影响。结果表明,在秸秆还田模式下,减量化施肥处理均未对水稻生长发育产生负影响,并且保障了水稻产量;秸秆还田后,土壤养分含量相比还田前有所提高,相比于 T1 处理,减量施肥处理组有机质含量显著提高 15%~24%,速效钾含量显著降低 12%~21%,碱解氮和速效磷未形成显著性差异。其中 T3 处理组,水稻最高分蘖数、分蘖生长速率、有效穗数、结实率都显著提高,株高和千粒质量并未表现显著差异,水稻最终产量提高了 17.14%。因此,在冀东水稻种植地区,秸秆还田与减量施肥 T3(减施氮肥 15.02%,减施肥料 25.84%)的配施方式是该地区最优减量化栽培方式。

**关键词:**水稻;秸秆还田;减量施肥;产量;土壤养分

**中图分类号:**S511.06 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)10-0066-06

河北省水稻主要集中在唐山市-秦皇岛市滨海盐碱地区种植,种植面积约 8 万  $\text{hm}^2$ ,是河北省重要的粮食作物<sup>[1]</sup>。为保证作物产量,农户通常施用大量化肥来满足作物生长所需养分。同样,水稻生长发育过程中也离不开肥料,尤其是氮肥,可直接影响作物产量。合理配施磷肥能保证水稻分蘖,利于水稻增产;合理配施钾肥可改善水稻品质,提高水稻自身抗逆性<sup>[2-4]</sup>。因此肥料增施是提高产量的重要措施之一<sup>[5]</sup>。我国化肥施用量在世界居于前

列,水稻作物上化肥施用量高达 887.1 万 t,高于其他农作物施肥量<sup>[6]</sup>。为了追求作物高产,化肥过量施用的现象普遍存在。但长期过量施用化肥,导致肥料利用率低,氮肥利用率和磷肥利用率分别在 30%、25% 左右<sup>[7-8]</sup>,未被利用的氮磷钾等养分流失至生态环境中,导致地表水体富营养化,还会造成土壤酸化、地力衰退等一系列问题<sup>[9]</sup>。

针对长期过量施肥而导致的生态环境问题,减量化施肥得到迅速发展。20 世纪 90 年代,一些欧洲发达国家在保证作物产量的前提下,减少化肥的施用量,降低了氮磷钾肥年均施用量<sup>[10]</sup>。为保证绿色生态持续发展,近几年,我国也开始在减量化施肥方面展开研究。目前,减量施肥的技术方法主要有测土配方施肥、水肥一体化、秸秆还田、配施有机肥等。作物秸秆作为可再生的生物质能资源之一,

收稿日期:2021-12-10

基金项目:河北省科技计划(编号:19227307D)。

作者简介:赵子婧(1994—),女,河北唐山人,硕士,研究实习员,从事农田秸秆综合利用研究。E-mail:zhaozijing94@163.com。

通信作者:刘雅辉,硕士,副研究员,主要从事农田秸秆综合利用研究。E-mail:bhslyh@126.com。

partitioning among photosynthetic components, leaf photosynthetic capacity and photosynthetic nitrogen use efficiency in field-grown cotton[J]. Field Crops Research, 2015, 184: 39-49.

[19] 柏延文,张宏军,朱亚利,等. 不同株型玉米冠层光氮分布、衰老特征及光能利用对增密的响应[J]. 中国农业科学, 2020, 53(15): 3059-3070.

[20] 武志海,张治安,陈展宇,等. 大垄双行种植玉米群体冠层结构及光合特性的解析[J]. 玉米科学, 2005, 13(4): 62-65.

[21] 孙志伟. 供氮量对烤烟叶片光合特性及光合氮利用效率的影响

[D]. 北京:中国农业科学院, 2020: 39-40.

[22] 李鹏民,高辉远,Strasser R J. 快速叶绿素荧光诱导动力学分析在光合作用研究中的应用[J]. 植物生理与分子生物学报, 2005, 31(6): 559-566.

[23] 原佳乐,马超,冯雅岚,等. 不同抗旱性小麦快速叶绿素荧光诱导动力学曲线对干旱及复水的响应[J]. 植物生理学报, 2018, 54(6): 1119-1129.

[24] 李静,王洪章,刘鹏,等. 夏玉米不同栽培模式花后叶片光合性能的差异[J]. 作物学报, 2021, 47(7): 1351-1359.

内含 50% 以上的光合作用产物,含有大量氮、磷、钾、镁等多种元素<sup>[11]</sup>,以及由碳、氢、氧等元素构成的有机质<sup>[12]</sup>。作物秸秆通过物理加工或微生物利用后可作为有机肥还田于土壤,增加土壤有机碳的含量<sup>[13-14]</sup>,同时释放氮磷钾等养分,满足作物养分需求并提高土壤养分含量<sup>[15]</sup>,减少化肥施用量<sup>[16-17]</sup>。秸秆还田结合减量施肥,既能保障作物产量,同时又提高了土壤有机质和养分的含量<sup>[18-19]</sup>。

河北省滨海稻区由于秋冬季地表温度低,水稻秸秆直接还田不能快速腐解,尤其秸秆快速腐解期与水稻返青分蘖期重叠,严重影响水稻秧苗的生长发育。低温腐解秸秆菌 HT20 应用于秸秆还田中可以加速秸秆腐解,并且在腐解过程中释放氮磷钾等,为水稻生长发育提供一定养分,可减施部分化肥,但是适宜的肥料施用体系目前还不清楚,因此,本研究通过大田试验,设计不同减量施肥方案,探究适宜河北省滨海稻区水稻秸秆配施 HT20 还田最优配套施肥技术,既保障水稻在整个生育期正常生长发育,又不影响水稻最终产量,以期为该区域水稻实际生产提供合理的减量化施肥方案。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况及供试材料

试验在河北省农林科学院滨海农业综合试验站(地理位置 39°17'40"N,118°27'22"E)进行,试验站海拔 2.5 m,属东部季风区暖温带半湿润季节型近海大陆性气候,年均气温为 11.4 ℃。土壤类型为

盐渍型滨海黏壤土,多年种植水稻;试验前取土样化验,耕层土壤的基本化学性质:pH 值为 7.98,含有机质 16.10 g/kg、碱解氮 93.45 mg/kg、速效磷 18.09 mg/kg、速效钾 218.10 mg/kg。

供试水稻品种为滨稻 18。供试美丹利复合肥含 N 25%、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 9%、K<sub>2</sub>O 11%,由河北美丹利化肥有限公司生产;供试有机硅功能复合肥含 N 25%、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 10%、K<sub>2</sub>O 15%,由河北硅谷肥业有限公司生产;尿素含 N 46%;磷酸二铵含 N 18%、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 46%;硫酸钾含 K<sub>2</sub>O 52%。试验所用肥料购于当地农业生产资料市场。

### 1.2 试验设计

于 2019 年 11 月开始,2020 年 5 月 21 日移栽,2020 年 10 月结束。前茬作物为水稻,并在收获季节将低温稻秆腐解菌 HT20(河北省农林科学院滨海农业研究所提供)喷洒于秸秆后进行翻耕还田处理,翻耕深度为 10~15 cm,并灌水使土壤含水量接近饱和。

试验设置常规施肥和减量施肥 4 个处理(表 1)。常规施肥 T1,主要模拟农户习惯施肥;减量施肥 T2,主要以美丹利复合肥为底肥,减施肥料 19.97%,减施氮肥 5.74%;减量施肥 T3,主要以美丹利复合肥为底肥,减施肥料 25.84%,减施氮肥 15.02%;减量施肥 T4,主要以硅谷缓释肥为底肥,减施肥料 34.01%,减施氮肥 20.88%。每个处理 3 次重复,随机排列。田间管理与常规管理一致。

表 1 不同处理的施肥方案

| 处理 | 底肥(kg/hm <sup>2</sup> ) |      |     |       | 追肥(kg/hm <sup>2</sup> ) |  | 穗肥(kg/hm <sup>2</sup> ) |     | 折合施氮量(kg/hm <sup>2</sup> ) | 折合施磷量(kg/hm <sup>2</sup> ) | 折合施钾量(kg/hm <sup>2</sup> ) |
|----|-------------------------|------|-----|-------|-------------------------|--|-------------------------|-----|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
|    | 尿素                      | 磷酸二铵 | 美丹利 | 硅谷缓释肥 | 尿素                      |  | 尿素                      | 硫酸钾 |                            |                            |                            |
| T1 | 150                     | 300  | —   | —     | 465                     |  | 75                      | 150 | 371.40                     | 138.0                      | 78.00                      |
| T2 | —                       | —    | 600 | —     | 360                     |  | 75                      | —   | 350.10                     | 54.0                       | 66.00                      |
| T3 | —                       | —    | 600 | —     | 360                     |  | —                       | —   | 315.60                     | 54.0                       | 66.00                      |
| T4 | —                       | —    | —   | 375   | 435                     |  | —                       | —   | 293.85                     | 37.5                       | 56.25                      |

### 1.3 试验测定项目与方法

#### 1.3.1 形态指标测定

移栽后 7 d(5 月 28 日)开始调查单株株高,每个小区挂牌调查 10 穴,每 7 d 调查 1 次水稻单株株高。

移栽后 7 d,选择生长发育状态一致的水稻秧苗进行标定,用竹竿(1.5 m)在每个小区标定 3 个点,每个点标记 5 穴,每隔 7 d 调查定点植株,记录每个小区水稻的分蘖动态,测定各个处理的最高分蘖数。

1.3.2 产量及其构成因素的测定 于水稻成熟期,在每个小区选取 10 穴代表性植株,测定其有效穗数(个/穴)、总粒数(粒/穴)、实粒数(粒/穴)、结实率(%)、千粒质量(g)等指标。

1.3.3 土样采集及分析 试验前后分别对耕作层土壤进行取样,采样深度为 20 cm,化验土壤 pH 值、有机质含量、碱解氮含量、有效磷含量、有效钾含量等。采用水土体积比 5:1 浸提,用 PHSJ-4A 型 pH 计测定土壤 pH 值;参照《土壤分析技术规范》测

定土壤养分,采用重铬酸钾外加热法测定土壤有机质,采用碱解扩散法测定碱解氮;采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定速效磷;采用原子吸收分光光度计法测定速效钾。

1.4 数据统计分析

利用 Excel 软件进行统计和数据作图处理,利用 Minitab 软件进行数据的显著度比较分析。

2 结果与分析

2.1 秸秆还田结合不同施肥处理对水稻分蘖动态及成穗的影响

由图 1、表 2 可知,随着水稻生育进程的推移,不同施肥模式下的水稻茎蘖数均表现为先下降再快速增加,达到最大茎蘖数后,缓慢回落,最后趋于平稳。在移栽初期,水稻茎蘖数先呈现下降趋势,主要是由于水稻苗移栽至大田后,小苗、弱苗不适应大田环境,自然衰亡。T2、T3 处理组的水稻分蘖数在 6 月 24 日率先达到最高值,最高分蘖数分别为 17.273、20.764 个/穴,分蘖生长速率分别为 0.332、0.459 个/d;而 T1、T4 处理组的水稻分蘖数在 7 月 2 日到达最高值,晚于 T2 和 T3 处理组,最高分蘖数分别为 17.714、17.012 个/穴,分蘖生长速率分别为 0.326、0.252 个/d。相比于常规施肥 T1 处理组,减量施肥 T3 处理组的最高分蘖数和分蘖生长速率显著增加,T2、T4 处理组未形成显著性差异。说明减

量化施肥并未影响水稻分蘖生长速率,保障了水稻最高分蘖数。

4 个施肥处理组的水稻茎蘖数在达到最大茎蘖数后,均开始回落,最终趋于稳定。T3 处理组的最终有效茎蘖数为 15.387 个/穴,高于其他 3 个施肥组,但无效分蘖高达 5.377 个/穴,茎蘖数回落较大,导致其最终成穗率仅为 74.30%。T2 和 T4 处理组的最终有效茎蘖数分别为 13.978 个/穴和 13.738 个/穴,显著低于 T3 处理组,但与常规施肥 T1 处理组无显著性差异。T2 和 T4 处理组的成穗率分别为 81.26% 和 80.93%,略低于常规施肥 T1 处理组。减量化施肥处理组的成穗率均低于常规施肥 T1 处理组,但 4 种不同施肥处理组并未形成显著性差异,说明减量化施肥并未影响水稻成穗率。

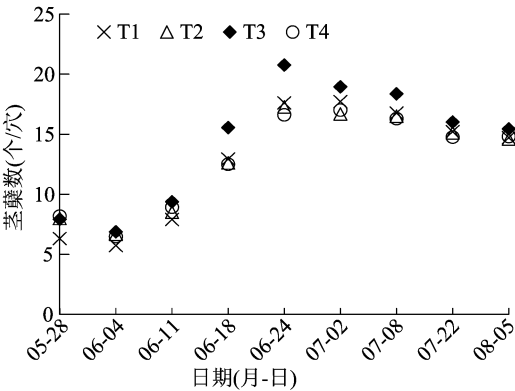


图1 秸秆还田结合不同施肥处理下水稻分蘖数

表 2 秸秆还田结合不同施肥处理对水稻分蘖指标和成穗率的影响

| 处理 | 最高茎蘖数<br>(个/穴)  | 有效茎蘖数<br>(个/穴)   | 分蘖生长速率<br>(个/d) | 成穗率<br>(%)    |
|----|-----------------|------------------|-----------------|---------------|
| T1 | 17.714 ± 1.002b | 14.565 ± 0.881ab | 0.326 ± 0.032b  | 82.22 ± 0.41a |
| T2 | 17.273 ± 1.562b | 13.978 ± 0.332b  | 0.332 ± 0.068b  | 81.26 ± 5.68a |
| T3 | 20.764 ± 1.315a | 15.387 ± 0.0489a | 0.459 ± 0.091a  | 74.30 ± 4.62a |
| T4 | 17.012 ± 0.887b | 13.738 ± 0.476b  | 0.252 ± 0.018b  | 80.93 ± 5.61a |

注:同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。表 3、表 4 同。

2.2 秸秆还田结合不同施肥处理对水稻株高及株高生长速率动态变化的影响

由图 2 可知,随着水稻生育期的推进,不同施肥模式下水稻株高生长动态基本一致,均表现为逐渐增高,并且在孕穗成熟期株高趋于稳定。在整个生育期内,T2、T3 处理组的株高与 T1 处理组相差不大。移栽 7 d 后,T4 处理组的水稻株高低于其他 3 个施肥处理组,导致整个生育期内水稻株高均低于其他 3 个处理组,最终株高仅为 97.57 cm,可能是由于 T4 处理组底肥主要以缓释肥为主,施用量少

且养分释放缓慢,导致氮肥不足,影响水稻插秧返青期向上生长。说明过量减施肥料会对水稻株高有一定影响。

在水稻 4 个主要生长发育阶段,不同施肥措施下株高生长速率见图 3。在水稻分蘖盛期,水稻株高生长速率达到最大,表明水稻分蘖盛期是水稻向上生长的关键时期。在水稻孕穗成熟期,水稻株高生长速率降为 0.5 cm/d,水稻基本停止向上生长,株高趋于稳定。在水稻分蘖盛期,常规施肥 T1 处理组水稻株高生长速率达到最高,为 1.24 cm/d,高

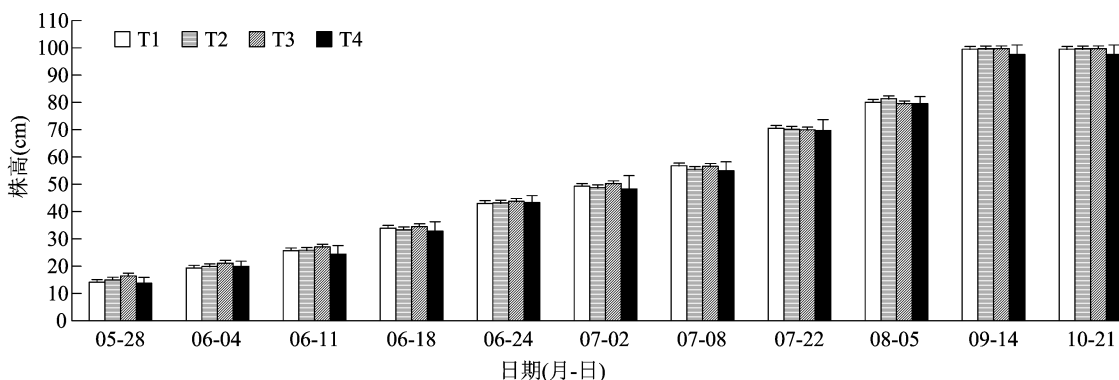


图2 秸秆还田结合不同施肥处理下水稻株高生长动态

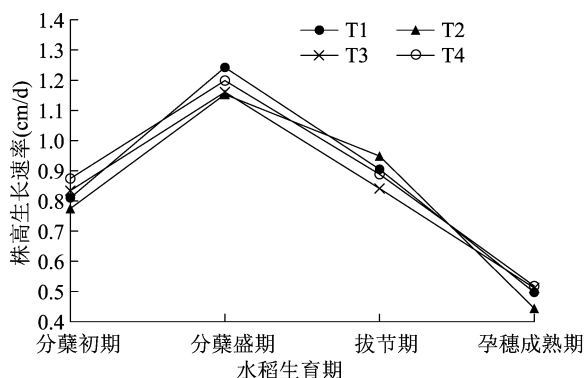


图3 秸秆还田结合不同施肥处理下水稻各生育期内株高生长速率

构成因素的影响见表3,各处理组的产量构成因素之间存在显著性差异。减量施肥 T3 处理组的有效穗数高于其他 3 个施肥组,为 15.51 穗/穴,比其他 3 组分别提高了 4.2%、12.4%、8.4%;减量施肥 T2 处理组的有效穗数最低,仅为 13.67 穗/穴,但未与 T1 形成显著性差异。减量施肥 T3 处理组的穗粒数略低于常规施肥 T1 处理组,但未形成显著性差异;减量施肥 T2 和 T3 处理组的穗粒数显著高于常规施肥 T1 处理组,T2 处理组最高,为 149.38 粒/穗。减量施肥 T3 处理组的结实率为 94.92%,相比 T1 提高了 1.25 百分点,且差异显著;减量施肥 T2 和 T4 的结实率分别为 94.24%、94.72%,与 T1、T3 处理没有显著性差异,且略高于 T1 施肥组。4 个施肥处理的水稻千粒质量并没有显著性差异,均在 32 g 左右。说明减量化施肥并未影响水稻产量构成因素,相反还有助于提高水稻穗粒数和结实率等相关指标。

于其他 3 个施肥组。说明高施肥量有助于水稻在分蘖盛期向上生长。

### 2.3 秸秆还田结合不同施肥处理对水稻产量构成因素的影响

在秸秆还田模式下,不同施肥措施对水稻产量

表3 秸秆还田结合不同施肥处理下水稻产量构成因子

| 处理 | 有效穗数<br>(穗/穴)  | 穗粒数<br>(粒/穗)   | 结实率<br>(%)     | 千粒质量<br>(g)   |
|----|----------------|----------------|----------------|---------------|
| T1 | 14.89 ± 1.02ab | 124.23 ± 8.25c | 93.67 ± 0.22b  | 31.92 ± 1.22a |
| T2 | 13.67 ± 0.15b  | 149.38 ± 3.35a | 94.24 ± 0.47ab | 32.40 ± 0.35a |
| T3 | 15.51 ± 0.59a  | 118.51 ± 2.72c | 94.92 ± 0.97a  | 32.08 ± 0.04a |
| T4 | 14.21 ± 0.71ab | 137.02 ± 7.92b | 94.72 ± 0.51ab | 32.54 ± 0.17a |

### 2.4 秸秆还田结合不同施肥处理对水稻产量的影响

由图4可知,减量施肥 T2、T3、T4 等 3 个处理组水稻最终产量均高于常规施肥 T1 处理组。常规施肥 T1 处理组的水稻产量为 9 333 kg/hm<sup>2</sup>。减量施肥 T2、T3、T4 处理组水稻产量分别为 9 933、10 933、10 100 kg/hm<sup>2</sup>,相比于 T1 施肥组,分别增产了 6.43%、17.14%、8.21%。减量施肥 T3 处理组的增产效果最明显。说明减量化施肥处理并未影响水稻最终实际产量,还有助于提高水稻实际产量。

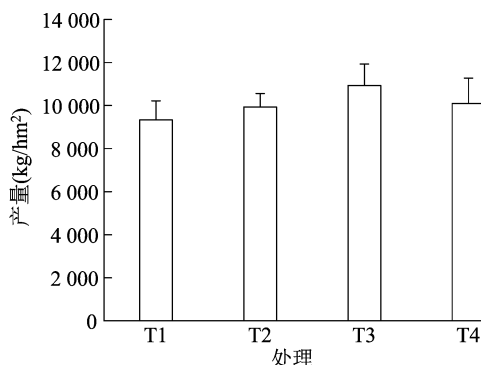


图4 秸秆还田结合不同施肥处理下水稻的产量

2.5 秸秆还田结合不同施肥处理对土壤理化性质的影响

试验前后土壤养分含量的变化见表 4。秸秆还田结合不同施肥模式对土壤 pH 值的影响极小,但显著影响了土壤养分含量。在秸秆还田后,施加 4 种不同施肥方案,土壤有机质含量提高了 40% ~ 74%, 碱解氮含量提高了 51% ~ 60%, 速效磷含量提高了 3% ~ 21%, 速效钾含量提高了 4% ~ 32%,

说明秸秆还田结合施肥有利于提高土壤养分含量,改善土壤理化性状。在秸秆还田模式下,减量施肥处理组相比于常规施肥 T1 处理组,土壤有机质含量显著提高了 15% ~ 24%;土壤碱解氮和速效磷含量相差不大,未产生显著性差异;速效钾含量显著降低,可能由于水稻抽穗期未施钾肥,导致植物直接吸收土壤中速效钾。

表 4 秸秆还田结合不同施肥处理下土壤的理化性质

| 处理  | pH 值  | 有机质含量<br>(g/kg) | 碱解氮含量<br>(mg/kg) | 速效磷含量<br>(mg/kg) | 速效钾含量<br>(mg/kg) |
|-----|-------|-----------------|------------------|------------------|------------------|
| 试验前 | 7.98  | 16.10 ± 0.61    | 93.45 ± 9.62     | 18.09 ± 1.25     | 218.10 ± 25.90   |
| T1  | 7.92a | 22.63 ± 1.21c   | 141.17 ± 5.35a   | 21.00 ± 3.13a    | 289.40 ± 24.10a  |
| T2  | 7.93a | 26.13 ± 1.06b   | 149.33 ± 5.35a   | 21.90 ± 4.72a    | 254.64 ± 14.82b  |
| T3  | 7.97a | 26.57 ± 0.53ab  | 149.33 ± 2.02a   | 19.32 ± 2.17a    | 227.89 ± 11.61b  |
| T4  | 7.91a | 28.06 ± 0.55a   | 148.17 ± 5.35a   | 18.70 ± 0.86a    | 242.83 ± 12.7b   |

3 结论与讨论

本研究结果表明,在秸秆还田模式下,减量施肥 T2、T3、T4 处理组均通过改善水稻农艺学性状保障了水稻产量,相比于常规施肥处理组,水稻产量分别提高了 6.43%、17.14%、8.21%。同时,秸秆还田后,土壤养分含量有所提高,相比于常规施肥处理组,减量施肥 T2、T3、T4 处理组有机质含量显著提高,碱解氮和速效磷未形成显著性差异,速效钾含量显著降低。

众多研究表明,在秸秆还田模式下,适当减少化肥施用量不会对作物产量产生显著影响<sup>[20]</sup>,甚至合理的施氮策略能够有效提高早晚稻的实际产量<sup>[21]</sup>。从水稻最高茎蘖数、成穗率、结实率和千粒质量等农艺学性状来看,3 个减量施肥处理组的农艺学性状指标并未显著低于常规施肥 T1 处理组,说明化肥减施并未显著影响水稻生长发育。但减量施肥 T4 处理组的水稻株高在整个生育期都显著低于常规施肥 T1 组,可能是由于 T4 处理组前期底肥施用量过低且释放缓慢,仅为 375 kg/hm<sup>2</sup>,折合施氮量为 93.75 kg/hm<sup>2</sup>,导致腐解微生物与植物争抢养分,致使在移栽返青期,水稻株高显著低于其他 3 个施肥组,虽追肥阶段提高了尿素施用量,株高生长速率加快,但最终株高仍然显著低于其他 3 个施肥处理组。因此,在秸秆还田模式下,要注重氮肥减施量,避免秸秆腐解过程中与水稻争夺养分,

影响作物生长发育,从而影响作物产量<sup>[22-23]</sup>。更有研究表明,缓释肥和尿素配施可以达到减氮增效的目的,提高了氮肥利用率,保障了作物的产量<sup>[24]</sup>。本研究中 T2 和 T3 施肥组以美丹利稳定性长效复合肥为底肥,施用量为 600 kg/hm<sup>2</sup>;T4 施肥组以有机硅功能复合肥料为底肥,施用量为 375 kg/hm<sup>2</sup>。因此在秸秆还田的基础上,减量化施肥处理组主要以缓释复合肥为前期底肥,尿素为后期氮肥追施,二者互相配施,提高肥料利用率,保障作物生长和最终产量。

本试验中秸秆还田提高了土壤有机质、碱解氮、速效磷和速效钾的含量,这与前人研究结果<sup>[25-26]</sup>一致。秸秆还田后土壤有机质含量相比还田前提高了 40% ~ 74%,但随着施氮量的减少,土壤有机质含量逐渐增加,T1 施肥组的有机质含量显著低于其他 3 个减量施肥处理组,施氮量过高不一定利于土壤有机质含量的累积,这与前人研究结果<sup>[27]</sup>一致。秸秆还田后,土壤养分得到提高,尤其是碱解氮增幅较大,提高了 51% ~ 60%,随着氮肥施用量的减少,土壤碱解氮含量并未随着减少,可能氮肥还有继续减施的潜力。秸秆还田后土壤速效磷含量增加幅度较小,主要与秸秆中磷元素含量较低且释放少有关<sup>[28]</sup>。秸秆中的钾素主要以离子形态存在,释放速率快且释放大,秸秆中 95% 钾离子均可释放到土壤中,进而提高土壤速效钾含量<sup>[29]</sup>,可以减少高钾和中钾土壤的钾肥施用量<sup>[30]</sup>。秸秆还田前,

试验地土壤速效钾含量为 218.10 mg/kg, 为高钾土壤田块, 常规钾肥用量仅为 78 kg/hm<sup>2</sup>。秸秆还田后土壤速效钾含量提高 4% ~ 32%, 随着钾肥量减施, 土壤速效钾含量显著低于常规施肥处理组, 主要因为秸秆还田钾素更多地被作物吸收利用, 致使土壤中速效钾含量增幅较低。

水稻秸秆还田结合合理的施肥量能够有效地提高土壤有机质含量, 改善土壤养分, 提高水稻产量。在河北滨海稻区水稻种植过程中, 初步确定秸秆还田结合 T3 施肥组是目前较合理的减量化施肥方案, 折合施 N 量 315.6 kg/hm<sup>2</sup>, 施 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 量 54 kg/hm<sup>2</sup>, 施 K<sub>2</sub>O 量 66 kg/hm<sup>2</sup>, 相比常规施肥方案, 减施氮肥 15.02%, 总减施肥料为 25.84%。在该施肥方案下, 秸秆腐熟较快, 避免腐解微生物与水稻争夺养分, 同时秸秆腐熟后又会释放氮磷钾等养分, 可以为水稻的生长发育提供养分, 既保障水稻生长发育, 又提高水稻实际产量, 保障了农业生态绿色发展, 为河北滨海稻区水稻秸秆资源循环利用提供了科学依据。

#### 参考文献:

- [1] 王亚楠, 孙立永, 贾文冬, 等. 河北省水稻生产概况及产业发展展望[J]. 河北农业科学, 2020, 24(2): 13–14, 62.
- [2] 万淑红, 田应兵, 许昌雨, 等. 氮素调控对水稻黄华占生长发育及产量的影响[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(6): 68–72.
- [3] 郭鑫年, 孙 娇, 梁锦秀, 等. 施磷对宁夏引黄灌区水稻产量、氮磷吸收利用及氮素残留的影响[J]. 水土保持研究, 2019, 26(2): 49–54, 61.
- [4] 朱远范, 史燕捷, 管 浩, 等. 小麦秸秆还田条件下钾肥减量对水稻产量及养分利用的影响[J]. 农业环境科学学报, 2020, 39(11): 2596–2605.
- [5] 冀建华, 侯红乾, 刘益仁, 等. 长期施肥对双季稻产量变化趋势、稳定性和可持续性的影响[J]. 土壤学报, 2015, 52(3): 607–619.
- [6] 徐 洋, 杨 帆, 张卫峰, 等. 2014—2016 年我国种植业化肥施用状况及问题[J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(1): 11–21.
- [7] 付月君, 王昌全, 李 冰, 等. 稻田氮磷养分损失途径及影响因素研究进展[J]. 四川环境, 2015, 34(6): 162–167.
- [8] 李廷亮, 谢英荷, 洪坚平, 等. 施磷水平对晋南旱地冬小麦产量及磷素利用的影响[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(6): 658–665.
- [9] 信彩云, 王 瑜, 赵庆雷, 等. 稻田肥料减施对小麦秸秆腐解规律的影响[J]. 中国农学通报, 2021, 37(13): 8–13.
- [10] 徐云连, 马友华, 吴蔚君, 等. 长期减量化施肥对水稻产量和土壤肥力的影响[J]. 水土保持学报, 2018, 32(6): 254–258.
- [11] 戴志刚, 鲁剑巍, 周先竹, 等. 中国农作物秸秆养分资源现状及利用方式[J]. 湖北农业科学, 2013, 52(1): 27–29.
- [12] 薛林贵, 杨蕊琪, 马高高, 等. 秸秆的生物降解机理及其功能微生物菌群研究进展[J]. 生态科学, 2017, 36(3): 193–199.
- [13] 潘剑玲, 代万安, 尚占环, 等. 秸秆还田对土壤有机质和氮素有效性影响及机制研究进展[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(5): 526–535.
- [14] 王旭东, 庄俊杰, 刘冰洋, 等. 秸秆还田条件下中国农田土壤有机碳含量变化及其影响因素的 Meta 分析[J]. 中国农业大学学报, 2020, 25(8): 12–24.
- [15] 李录久, 吴萍萍, 王家嘉, 等. 不同秸秆还田量对水稻产量和土壤肥力的影响[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(10): 43–45.
- [16] 蒋炳恒, 沈健林, 王 娟, 等. 秸秆还田稻田土壤生物有效性磷及水稻磷吸收[J]. 水土保持学报, 2020, 34(6): 309–317.
- [17] 柴如山, 安之冬, 马 超, 等. 我国主要粮食作物秸秆钾养分资源量及还田替代钾肥潜力[J]. 植物营养与肥料学报, 2020, 26(2): 201–211.
- [18] Sadaf J, Shah G A, Shahzad K, et al. Improvements in wheat productivity and soil quality can accomplish by co-application of biochars and chemical fertilizers [J]. Science of the Total Environment, 2017, 607/608: 715–724.
- [19] 丛艳静, 朱玲玲, 陈秀莲, 等. 秸秆腐熟剂处理稻草还田对茼蒿减量化施肥的效果初探[J]. 福建农业学报, 2014, 29(3): 243–246.
- [20] 李 锦, 田霄鸿, 王少霞, 等. 秸秆还田条件下减量施氮对作物产量及土壤碳氮含量的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2014, 42(1): 137–143.
- [21] 马贤超, 袁 伟, 王子阳, 等. 双季稻秸秆还田处理下减施氮肥对水稻生长和产量的影响[J]. 农业与技术, 2019, 39(22): 1–5.
- [22] 黄婷苗, 王朝辉, 侯仰毅, 等. 施氮对关中还田玉米秸秆腐解和养分释放特征的影响[J]. 应用生态学报, 2017, 28(7): 2261–2268.
- [23] 陈建英, 罗超越, 邱慧珍, 等. 不同施氮量对半干旱区还田玉米秸秆腐解及养分释放特征的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2020, 38(1): 101–106.
- [24] 胡迎春, 韩云良, 施成晓, 等. 氮肥减量下缓释肥和尿素配施对黄土高原春玉米氮素利用和产量效益的影响[J]. 西北农业学报, 2019, 28(7): 1068–1078.
- [25] 杨滨娟, 黄国勤, 徐 宁, 等. 秸秆还田配施不同比例化肥对晚稻产量及土壤养分的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(13): 3779–3787.
- [26] Huang S, Zeng Y J, Wu J F, et al. Effect of crop residue retention on rice yield in China: a meta-analysis[J]. Field Crops Research, 2013, 154: 188–194.
- [27] 安志超, 黄玉芳, 马晓晶, 等. 连续不同施氮对小麦玉米轮作农田土壤理化性状的影响[J]. 麦类作物学报, 2017, 37(11): 1461–1466.
- [28] 戴志刚, 鲁剑巍, 李小坤, 等. 不同作物还田秸秆的养分释放特征试验[J]. 农业工程学报, 2010, 26(6): 272–276.
- [29] Saha P K, Miah M, Hossain A, et al. Contribution of rice straw to potassium supply in rice-fallow-rice cropping pattern[J]. Bangladesh Journal of Agricultural Research, 1970, 34(4): 633–643.
- [30] 李继福, 鲁剑巍, 任 涛, 等. 稻田不同供钾能力条件下秸秆还田替代钾肥效果[J]. 中国农业科学, 2014, 47(2): 292–302.