

刘红江, 郭 智, 张岳芳, 等. 不同类型有机肥对水稻产量和稻米品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2024, 40(4): 645-651.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2024.04.008

不同类型有机肥对水稻产量和稻米品质的影响

刘红江¹, 郭 智¹, 张岳芳¹, 盛 婧¹, 周 炜¹, 刘德坤²

(1. 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 江苏 南京 210014; 2. 江苏省镇江市后白镇农业农村分局, 江苏 镇江 212444)

摘要: 以南粳 46 为供试水稻品种进行大田小区试验, 设置不施氮肥、常规化肥及鸡粪、猪粪、羊粪有机肥等氮量替代 50% 化肥作基肥处理, 共 5 个处理, 探索其对水稻产量、稻米品质的影响。结果表明: 与常规化肥处理相比, 50% 羊粪有机肥处理使水稻产量显著降低, 但能够显著提高稻米整精米率和黏度, 显著降低稻米垩白粒率、垩白度, 并显著降低稻米硬度、消减值、回复值和峰值时间, 使稻米品质明显提升。与常规化肥处理相比, 不同类型有机肥替代化肥基施均可在整体上降低稻米蛋白质含量, 增大稻米胶稠度。但是, 不同有机肥处理对大部分稻米品质指标的提升效果未达到显著水平, 说明将不同类型有机肥替代化肥作为基肥施用, 能够不同程度地提高稻米品质, 特别是 50% 羊粪有机肥处理对稻米品质的改善效果更为明显, 但会使水稻产量降低。

关键词: 水稻; 有机肥; 产量; 稻米品质

中图分类号: S511.037 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2024)04-0645-07

Effects of different types of organic fertilizers on rice yield and quality

LIU Hong-jiang¹, GUO Zhi¹, ZHANG Yue-fang¹, SHENG Jing¹, ZHOU Wei¹, LIU De-kun²

(1. Institute of Agricultural Resources and Environment, Jiangsu Academy of Agriculture Sciences, Nanjing 210014, China; 2. Agricultural and Rural Bureau of Houbai Town, Zhenjiang, Jiangsu Province, Zhenjiang 212444, China)

Abstract: In this study, a field plot experiment was conducted with Nanjing 46 as the test material. By setting no nitrogen fertilizer, conventional chemical fertilizer, and organic manure (chicken manure, pig manure and sheep manure) instead of 50% chemical fertilizer as the base fertilizer, a total of five treatments were used to explore their effects on rice yield and rice quality. The results showed that compared with conventional chemical fertilizer treatment, 50% sheep manure organic fertilizer treatment significantly reduced rice yield, but significantly increased the head rice rate and viscosity of rice, significantly reduced the chalkiness rate and chalkiness degree of rice, and significantly reduced the rice's hardness, impairment, recovery value, and peak time, so that the quality of rice was significantly improved. Compared with the conventional chemical fertilizer treatment, different types of organic fertilizers replacing chemical fertilizer basal application all reduced the protein content of rice and increased the gel consistency of rice. However, different organic fertilizer treatments did not significantly improve most of the rice quality indicators. In summary, applying different types of organic fertilizer instead of chemical fertilizer as base fertilizer could improve rice quality to different degrees, especially 50% sheep

manure organic fertilizer treatment could improve rice quality more obviously, but the rice yield was reduced under this treatment.

Key words: rice; organic fertilizer; yield; rice quality

收稿日期: 2023-03-30

基金项目: 江苏省农业科技自主创新基金项目[CX(22)1002]

作者简介: 刘红江(1979-), 男, 江苏建湖人, 博士, 副研究员, 主要从事农业生态和稻麦栽培生理生态研究。(E-mail) Lihongjiang2004@sohu.com

通讯作者: 刘德坤, (E-mail) cola520@126.com

水稻作为中国主要的粮食作物之一,常年播种面积在 3.0×10^7 kg/hm²左右^[1],其高产稳产在保障国家粮食安全方面发挥了至关重要的作用。改革开放以后,得益于高产水稻新品种的不断育成^[2]、土壤培肥工程的实施^[3-4]、农田灌溉条件的不断改善^[5]以及规模化和机械化生产程度的不断提高^[6],中国水稻单产已实现了十三连丰。近年来,为了适应稻米供给侧结构性改革的需要,稻作生产和科研人员已经开始从重视提高产量逐渐向注重提升稻米品质方向转变^[7]。在水稻生产中,通过应用病虫害的生态防控技术措施,并结合生物农药的施用,使稻田化学农药用量大幅度降低,稻米安全品质得到了保障^[8]。同时,通过选种优良食味水稻品种^[9-10]、优化稻季肥料运筹^[11-12]和水浆管理^[13]、增施中微量元素肥料^[14]、实施稻田综合种养^[15-16]等品质调优技术措施的广泛应用,使得稻米食味品质得到不断提升。关于施用有机肥改善稻米品质^[17]方面的研究也有较多报道。截至目前,关于不同类型有机肥对稻米品质影响的比较研究较少。为此,本研究拟在江苏省句容市后白镇西城村试验田通过设计不施氮肥、施用常规化肥以及鸡粪、猪粪、羊粪 3 种有机肥 50%替代化肥施用 5 个处理,研究其对水稻产量结构、稻米品质的影响,以期为稻田合理培肥、保证水稻产量、提升稻米品质提供试验参考。

1 材料与方法

1.1 试验地点

本研究于 2020 年、2021 年在江苏省镇江市句容市西城村(31°50'N,119°09'E)进行,该区地形属于半丘陵半圩区地貌,属亚热带湿润季风气候,常年平均气温 15.3℃,日平均气温高于 10.0℃,适宜作物生长期约 227 d。年降水量 1 018.6 mm,年日照时数约 2 150 h。土壤质地为黄泥土,主要采用稻麦轮作模式。土壤理化性状:全氮含量 1.73 g/kg,总磷含量 0.61 g/kg,速效氮含量 118.92 mg/kg,速效磷含量 14.43 mg/kg,速效钾含量 121.93 mg/kg,有机质含量 27.53 g/kg,容重 1.23 g/cm³,pH 值 6.65。

1.2 试验设计

以常规施用化肥的方法为对照,氮、磷、钾肥的施用量分别为 270 kg/hm²、90 kg/hm²、135 kg/hm²,以不施氮肥处理作为空白对照,并分别设鸡粪、猪粪和羊粪有机肥等氮量替代 50%化肥的处理,共 5 个

处理,小区面积 0.067 hm²,设 3 次重复试验。以有机肥中测定出的氮含量为基准计算有机肥施用量,养分不足部分以化肥代替。不同类型有机肥的水分、养分含量见表 1。试验用化肥为含 15% N、15% P₂O₅、15% K₂O 的复合肥,在试验过程中配施尿素(含 46% N)、过磷酸钙(含 12% P₂O₅)、氯化钾(含 60% K₂O)补齐氮磷钾养分含量。氮肥运筹为 50%基肥、20%分蘖肥、30%促花肥,磷肥、钾肥和不同类型的有机肥全部于耕作前作基肥。

供试水稻品种为南粳 46,于 2020 年 6 月 8 日插秧,11 月 6 日收获;2021 年 6 月 8 日插秧,11 月 8 日收获。机插秧行距×株距为 30 cm×12 cm,每穴 3~4 苗。大田水浆管理方法:6 月 8 日~7 月 13 日采用浅水灌溉(约 5 cm),7 月 14 日~8 月 6 日 2 次脱水、中度搁田,8 月 7 日至收割前 10 d 实行间隙灌溉。其他种植管理方式按照水稻优质高产栽培措施进行。

表 1 不同类型有机肥水分、养分含量

Table 1 Water and nutrient contents of different types of organic fertilizers

年份	有机肥	含水量 (%)	总氮含量 (%)	总磷含量 (%)	总钾含量 (%)
2020	鸡粪	27.5	1.81	1.27	1.92
	猪粪	26.3	1.63	1.34	1.87
	羊粪	27.1	1.16	1.08	1.35
2021	鸡粪	29.3	1.74	1.26	1.96
	猪粪	28.1	1.61	1.31	1.83
	羊粪	28.7	1.18	1.15	1.39

1.3 测定内容与方法

1.3.1 水稻产量及其构成因素 于水稻成熟期选择田间长势均衡的水稻 100 穴,调查并折算每穴平均穗数,取 5 穴代表性稻株,脱粒、水漂后计算饱粒数、秕粒数,折算为每穗粒数、结实率;称取饱粒质量,计算千粒质量及水稻理论产量。

1.3.2 稻米品质 稻谷收获后风干,放置 3 个月,砻谷、碾米,执行《食用稻品种品质》(NY/T 593-2021)标准,测得整精米率、精米率和糙米率;使用东孚久恒扫描仪测定稻米的长、宽、垩白粒率和垩白度;同时测定米粉的胶稠度;用 SATAKE 大米食味计实测稻米蛋白质、直链淀粉含量^[18]。

1.3.3 稻米淀粉黏滞特性 稻米淀粉黏滞特性用快速黏度分析仪(RVA,产自瑞典 Perten 仪器公司)测

定,具体测定指标有峰值黏度(*PV*)、热浆黏度(*TV*)、最终黏度(*FV*)、糊化温度和峰值时间,计算崩解值(*PV-TV*)、消减值(*FV-PV*)、回复值(*FV-TV*)^[19]。

1.3.4 米饭食味值 称取 30.0 g 精米,按米:水体积比为1.00:1.25 添加去离子水,常温浸泡 0.5 h,以日本品种原样作对照,用米饭食味计(STA 1A,日本佐竹化学机械工业株式会社)检测^[20]米饭食味值。

1.4 数据分析

用 Excel 2007 制表及作图,用 SPSS 13.0 进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同类型有机肥施用条件下水稻产量及构成因素

如表 2 所示,2020 年、2021 年两季试验的水稻产量均以不施氮肥处理最低,常规化肥处理最高,

50%鸡粪、50%猪粪有机肥处理的水稻产量与常规化肥处理间的差异不显著。与常规化肥处理相比,在 50%羊粪有机肥处理下,水稻产量平均降低 5.24%,且差异显著。

由表 2 可知,在 2020 年,与常规化肥处理相比,3 个有机肥处理的水稻平均单位面积穗数降低了 2.88%;3 个有机肥处理的单位面积穗数显著降低。在 2021 年,与常规化肥处理相比,3 个有机肥处理的水稻平均单位面积穗数、平均每穗粒数分别降低了 3.28%、4.33%,水稻平均结实率、平均千粒质量分别提高了 4.09%、1.68%;单位面积穗数和每穗粒数的降幅达显著水平,结实率的增幅也达到显著水平。与常规化肥处理相比,3 个有机肥处理使 2 个试验年份水稻的单位面积穗数均显著降低。与常规化肥处理相比,50%羊粪有机肥处理的水稻产量显著下降。

表 2 不同类型有机肥施用条件下水稻的产量及构成因素

Table 2 Yield and its components of rice under different types of organic fertilizers application conditions

年份	处理	穗数 (穗, 1 m ²)	每穗粒数 (粒)	结实率 (%)	千粒质量 (g)	产量 (g/m ²)
2020	不施氮肥	310.8c	102.1b	93.6a	24.70b	732.8c
	常规化肥	410.3a	115.1a	90.1bc	25.21a	1 072.1a
	50%鸡粪	398.8b	114.8a	90.4b	25.14a	1 039.6ab
	50%猪粪	399.2b	115.2a	89.9bc	25.27a	1 045.0ab
	50%羊粪	397.5b	112.2a	89.2c	25.25a	1 004.9b
2021	不施氮肥	248.7c	106.5c	98.2a	25.83a	671.5c
	常规化肥	355.9a	121.6a	92.1c	24.87c	990.8a
	50%鸡粪	343.0b	116.2b	96.6b	25.40b	977.9a
	50%猪粪	347.6b	116.6b	95.9b	25.33bc	984.2a
	50%羊粪	342.1b	116.2b	95.1b	25.13bc	949.9b

同一年份、同列数据后标有不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

2.2 不同类型有机肥对稻米品质的影响

2.2.1 不同类型有机肥施用条件下的稻米加工品质 不同类型有机肥施用条件下的稻米加工品质见表 3。可以看出,2020 年和 2021 年不同处理间的水稻糙米率差异均不显著;与常规化肥处理相比,2020 年 50%羊粪有机肥处理使水稻精米率显著提高;在 2021 年,施用有机肥处理较施用常规化肥处理在总体上提高了水稻整精米率;2 年试验期间,50%羊粪有机肥处理使水稻整精米平均提高了 5.66%,与常规化肥处理相比差异均达显著水平。综上,50%羊粪有机肥处理的稻米加工品质相对较优。

2.2.2 不同类型有机肥施用条件下稻米的外观粒型品质 如表 4 所示,2020 年、2021 年水稻的整精米长和整精米长宽比在不同处理间的差异不显著。2020 年、2021 年,在常规化肥处理和 3 个有机肥处理中,稻米垩白粒率和垩白度均以常规化肥处理最高,与常规化肥处理相比,50%猪粪、50%羊粪有机肥处理的稻米垩白粒率和垩白度均显著降低。综上,与常规化肥处理相比,不同类型有机肥处理对稻米粒型(整精米长、整精米长宽比)影响整体不大,但有机肥处理,特别是 50%羊粪有机肥处理能够显著降低稻米的垩白粒率、垩白度,因此该处理的稻米

表 3 不同类型有机肥施用条件下稻米的加工品质

Table 3 Rice processing quality under different types of organic fertilizers application conditions

年份	处理	糙米率 (%)	精米率 (%)	整精米率 (%)
2020	不施氮肥	85.09a	76.73ab	69.71a
	常规化肥	84.73a	75.96b	66.92b
	50%鸡粪	85.04a	76.80ab	67.04b
	50%猪粪	84.84a	76.67ab	66.71b
	50%羊粪	85.31a	77.20a	70.50a
2021	不施氮肥	83.27a	75.53a	70.93a
	常规化肥	83.00a	74.60a	67.10b
	50%鸡粪	83.50a	75.40a	70.47a
	50%猪粪	83.43a	75.63a	71.23a
	50%羊粪	83.33a	75.10a	71.10a

同一年份、同列数据后标有不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

表 4 不同类型有机肥施用条件下稻米的外观粒型品质

Table 4 Appearance and grain type quality of rice under different types of organic fertilizers application conditions

年份	处理	整精米长 (mm)	整精米宽 (mm)	整精米长宽比	垩白粒率 (%)	垩白度 (%)
2020	不施氮肥	4.68a	2.78a	1.69a	4.04b	1.77a
	常规化肥	4.53a	2.66b	1.71a	6.63a	1.66a
	50%鸡粪	4.65a	2.75a	1.70a	5.67a	1.47ab
	50%猪粪	4.67a	2.76a	1.70a	4.38b	0.91b
	50%羊粪	4.63a	2.73ab	1.70a	2.52c	0.60b
2021	不施氮肥	4.87a	2.98a	1.63a	4.30b	1.49b
	常规化肥	4.87a	3.04a	1.60a	6.90a	1.92a
	50%鸡粪	4.87a	3.04a	1.60a	4.97b	1.48b
	50%猪粪	4.83a	3.02a	1.60a	4.33b	1.36b
	50%羊粪	4.83a	2.96a	1.63a	2.97c	1.17c

同一年份、同列数据后标有不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

表 5 不同类型有机肥施用条件下稻米的蒸煮食味与营养品质

Table 5 Cooking taste and nutritional quality of rice under different types of organic fertilizers application conditions

年份	处理	蛋白质含量 (%)	胶稠度 (mm)	直链淀粉含量 (%)
2020	不施氮肥	7.10c	82.35a	11.82a
	常规化肥	8.77a	80.62b	10.21c
	50%鸡粪	8.24b	82.31a	10.76b
	50%猪粪	8.37b	82.58a	11.03b
	50%羊粪	8.32b	82.47a	11.34ab
2021	不施氮肥	7.23c	74.20a	10.73a
	常规化肥	8.10a	72.93b	10.17b
	50%鸡粪	7.74b	74.17a	10.47ab
	50%猪粪	7.77b	75.13a	10.30b
	50%羊粪	7.51bc	74.67a	10.43ab

同一年份、同列数据后标有不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

外观粒型品质较优。

2.2.3 不同类型有机肥施用条件下稻米的蒸煮食味与营养品质 如表 5 所示,2020 年、2021 年稻米蛋白质含量均以不施氮肥处理最低,常规化肥处理最高,3 个有机肥处理稻米的平均蛋白质含量比常规化肥处理降低 5.26%,差异均达显著水平。2020 年、2021 年稻米的胶稠度均以常规化肥处理最小,不施氮肥处理、3 个有机肥处理的稻米胶稠度均显著大于常规化肥处理。2020 年稻米直链淀粉含量均以不施氮肥处理最高,常规化肥处理最低,可见施用有机肥比常规化肥处理增加了稻米直链淀粉含量。综上,与常规化肥处理相比,3 个有机肥处理使稻米蛋白质含量降低,胶稠度变大,直链淀粉含量有所提高,使稻米的蒸煮食味与营养品质得到提升。

2.2.4 不同类型有机肥施用条件下稻米的 RVA 谱特征值 如表 6 所示,2020 年、2021 年稻米的最终黏度、热浆黏度、峰值黏度及崩解值均以常规化肥处理最低,3 个有机肥处理较高。在 2020 年、2021 年,不同处理稻米的消减值均为负值,且以 50%羊粪有机肥处理最低,不同处理间的差异多达到显著水平。在 2020 年、2021 年,不同处理稻米的回复值也以 50%羊粪有机肥处理最低,部分处理间的差异达到显著水平。峰值时间显示样品达到峰值黏度的耗时,时间越短,表明稻米淀粉粒越易膨胀、越易破坏。本研究结果显示,在常规化肥处理和 3 个有机肥处理中,2020 年、2021 年峰值时间均以常规化肥处理最高。在 2 个试验年份,不同处理间糊化温度差异均不显著。上述结果表明,与常规化肥处理相比,50%羊粪有机肥处

理提高了稻米最终黏度、热浆黏度、峰值黏度及崩解值;50%羊粪有机肥处理的稻米消减值、回复值和峰

值时间比常规化肥处理显著降低。因此,50%羊粪有机肥处理稻米的 RVA 谱特征值相对最优。

表 6 不同类型有机肥施用条件下稻米的 RVA 谱特征值

Table 6 RVA spectral characteristics of rice under different types of organic fertilizers application conditions

年份	处理	峰值黏度	热浆黏度	最终黏度	崩解值	消减值	回复值	峰值时间 (min)	糊化温度 (℃)
2020	不施氮肥	2 797.0ab	1 728.3ab	2 289.5ab	1 068.7a	-507.5c	561.2b	6.41ab	71.08a
	常规化肥	2 663.2b	1 648.8b	2 208.5b	1 014.3b	-454.7b	559.7b	6.62a	71.48a
	50%鸡粪	2 831.2a	1 752.3a	2 321.0a	1 078.8a	-510.2c	568.7b	6.36b	70.94a
	50%猪粪	2 801.2ab	1 757.0a	2 376.7a	1 044.2ab	-424.5a	619.7a	6.41ab	71.35a
	50%羊粪	2 870.2a	1 796.0a	2 318.0a	1 074.2a	-552.2d	522.0c	6.30b	70.83a
2021	不施氮肥	2 581.3ab	1 591.0ab	2 233.0a	990.3ab	-348.3b	642.0ab	6.34ab	71.09a
	常规化肥	2 447.0c	1 501.0b	2 173.3b	946.0b	-273.7a	672.3a	6.58a	71.75a
	50%鸡粪	2 526.3b	1 557.7ab	2 197.3ab	968.7ab	-329.0ab	639.7ab	6.28b	71.13a
	50%猪粪	2 587.0ab	1 552.3ab	2 207.3ab	1 034.7a	-379.7c	655.0ab	6.36ab	71.01a
	50%羊粪	2 604.0a	1 605.7a	2 210.0ab	998.3ab	-394.0c	604.3b	6.24b	70.69a

同一年份、同列数据后标有不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

2.2.5 不同类型有机肥施用条件下的稻米的外观指标与食味值 如表 7 所示,在 2020 年、2021 年,不同有机肥处理的稻米外观值间差异不显著;硬度以常规化肥处理最高,与常规化肥处理相比,不施氮肥处理和 3 个有机肥处理均显著降低了稻米硬度;

在 2021 年,黏度总体上以常规化肥处理最低,与常规化肥处理相比,不施氮肥处理和 3 个有机肥处理均提高了稻米黏度;平衡度在不同有机肥处理之间差异不显著。在 2021 年,与常规化肥处理相比,3 个有机肥处理稻米的食味值均得到显著提高。

表 7 不同类型有机肥施用条件下稻米的外观指标与食味值

Table 7 Taste value and appearance index of rice under different types of organic fertilizers application conditions

年份	处理	外观值	硬度	黏度	平衡度	食味值
2020	不施氮肥	8.19a	5.99b	8.17ab	8.05a	84.54a
	常规化肥	7.83a	6.32a	7.74b	7.81a	83.19a
	50%鸡粪	8.21a	5.77c	8.14ab	8.10a	85.38a
	50%猪粪	8.10a	5.84bc	8.07ab	8.06a	85.22a
	50%羊粪	8.22a	5.86bc	8.40a	8.23a	85.32a
2021	不施氮肥	8.27a	5.98b	8.17b	8.10ab	83.88a
	常规化肥	7.97b	6.26a	7.86c	7.97b	82.44b
	50%鸡粪	8.34a	5.93b	8.12b	8.16ab	84.39a
	50%猪粪	8.29a	5.87b	8.18b	8.23ab	84.51a
	50%羊粪	8.36a	5.84b	8.35a	8.28a	84.72a

同一年份、同列数据后标有不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

3 讨论

3.1 施用不同类型有机肥对水稻产量形成的影响

有机肥含有丰富的大量、微量元素及腐殖酸、活体微生物等有机物质,具有持续供肥能力等特点^[21-25]。当化肥与有机肥配合施用时,不仅能够提供水稻生育前期的速效养分,在水稻生育中后期,还能够为水稻的拔节长穗和灌浆结实提供持效养分,提高水稻的穗粒数和结实性,从而获得较高产量^[26-27]。本研究结果表

明,与单纯施用化肥相比,不同类型有机肥等氮量替代 50%化肥使水稻呈现不同程度的减产,特别是 50%羊粪有机肥处理减产显著。这与徐明岗等^[28]长期定位试验的研究结果(化学氮肥、有机氮肥各占 50%配施处理有效提高了水稻穗数、每穗粒数,从而提高了水稻产量)存在明显不同。这可能与两者所选用的水稻品种类型不同有关,前人研究所选用的是籼稻品种,对氮素养分需求量总体较低,且其分蘖能力强,在生育前期,当施用有机肥作基肥时,水稻在较低土壤速效氮素含量条

件下能够快速生长,并快速发生分蘖,最终成穗数较多^[28-29]。本研究所选用的粳稻品种耐肥能力较强,分蘖期对养分的需求量较大,而施用有机肥作基肥,由于其肥力的缓效性,在水稻生产前期土壤养分供应相对不足,往往会影响分蘖发生,最终影响成穗数及产量^[30]。此外,侯红乾等^[31]研究发现,在中等肥力水平土壤条件下,当有机氮肥 30%替代化学氮肥时,水稻能够获得高产。由此可见,在江苏太湖流域的实际生产中,在用有机肥部分替代化肥时,为了保证水稻产量,可能要适当降低有机肥的替代比例。任科宇等^[32]通过大数据分析也得出了相似的结论,对于隶属长江下游的太湖地区,由于土壤肥力水平总体较高,较低比例的有机肥替代化肥往往更有利于水稻高产。另外,在本研究的 50%羊粪有机肥处理下,水稻产量下降幅度总体大于 50%鸡粪、50%猪粪有机肥处理,可能与不同来源有机肥施用于农田后其养分释放速率、肥效存在较大差异有关^[33]。

3.2 施用不同类型有机肥对稻米品质的影响

稻米品质主要受控于水稻品种本身的遗传特性,但肥料、水分管理等栽培措施对其同样具有重要影响。大部分研究发现,施用有机肥能改善稻米品质,主要在于有机肥的持效性特点,提升了水稻生育中后期叶片的光合作用能力,促进了光合产物的形成,保证了水稻生育后期的灌浆结实和籽粒充实,从而改善了稻米的加工品质和外观品质^[34]。此外,从反映稻米蒸煮食味品质的核心指标(直链淀粉含量、胶稠度和蛋白质含量等)来看,本研究所选用的水稻品种南粳 46 由于其自身具有半糯性等特点,所有处理的直链淀粉含量都处于较低水平,保证了其稳定的优良食味特性,这与前人研究结果^[18,35]基本一致。胶稠度体现了稻米淀粉胶体的柔软性,是稻米食味品质的另一项重要指标,用胶稠度长的稻米煮饭,在冷却后米饭仍然保持柔软、光滑而富有弹性,且口感好。本研究发现,有机肥配施化肥能延长稻米的胶稠度、提升稻米的食味值,这与前人在紫云英翻耕还田并减施 20%化肥条件下得到的研究结果^[36]一致。过高的稻米蛋白质含量会导致米饭的硬度、粗糙感提高,影响米饭的食味品质^[37],所以稻米的食味值与蛋白质含量呈负相关关系。卜容燕等^[38]在前茬紫云英翻压还田条件下,配合稻季减氮 40%,能降低稻米蛋白质含量,提升稻米品质,与本研究结果基本一致。但徐令旗等^[34]研究发现,增施

有机肥会提高稻米的蛋白质含量,降低米饭的食味值,这主要与其在化肥施用量不减的基础上增施有机肥,从而较大幅度增加了稻季氮肥投入量、强化了水稻生育后期的氮素供应,进而导致稻米蛋白质含量提高有关。由此可见,在用有机肥部分替代化肥提升稻米品质时,对基础肥力较好的土壤可能要适当降低有机肥的替代比例,在改善稻米加工和外观品质的同时,保证较低的稻米直链淀粉、蛋白质含量,增加稻米的胶稠度,提升稻米的蒸煮食味品质。从具体指标看,表现为提高稻米的食味值。

在不同类型有机肥替代化肥对稻米品质的影响方面,因羊粪有机肥的碳氮比一般会明显高于鸡粪、猪粪有机肥^[39],而较高的碳氮比影响了羊粪有机肥处理的微生物活性及氮素矿化作用^[40],减少了水稻生长发育的氮素供应,影响了水稻的分蘖,进而影响了水稻产量。但从对稻米品质的影响看,在水稻生育后期,相对较低的氮素供应水平往往能够减低稻米的蛋白质含量,从而提升稻米品质。因此,本研究中 50%羊粪有机肥处理虽然可使水稻产量有所降低,但对稻米品质却产生了更为积极的影响。

4 结 论

在本研究中,在不同类型有机肥等氮量替代 50%化肥作为基肥施用处理下,水稻产量均有所下降,尤其是羊粪有机肥 50%替代化肥处理使水稻产量相较于常规化肥处理的降幅达到显著水平。但不同类型有机肥等氮量替代 50%化肥处理提高了稻米的多项品质指标,特别是施用 50%羊粪有机肥对稻米品质的提升较为明显。因此,在生产实践中,当有机肥部分替代化肥用于稻田施用时,需要通过配套栽培措施的调节,在提升稻米品质的同时,保证较高的水稻产量水平,实现稻作生产的量质协同提升。此外,关于有机肥等氮量部分替代化肥导致水稻减产的作用机制有待深入研究。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴 2020[M]. 北京: 中国统计出版社, 2020: 113-115.
- [2] 胡培松, 康绍清, 罗 炬, 等. 美国光身稻品种的利用与超高产品种的选育[J]. 作物学报, 1999, 25(1): 32-38.
- [3] 王宇峰, 孟会生, 李廷亮, 等. 培肥措施对复垦土壤微生物碳氮代谢功能多样性的影响[J]. 农业工程学报, 2020, 36(24): 81-90.
- [4] LI W X, WANG C, ZHENG M M, et al. Fertilization strategies

- affect soil properties and abundance of N-cycling functional genes in an acidic agricultural soil[J]. *Applied Soil Ecology*, 2020, 156: 103704.
- [5] 李俊鹏,冯中朝,吴清华. 农田水利设施的粮食生产成本节约效应研究[J]. *改革*, 2019(6): 102-113.
- [6] 李文明,罗丹,陈洁,等. 农业适度规模经营: 规模效益、产出水平与生产成本——基于 1552 个水稻种植户的调查数据[J]. *中国农村经济*, 2015(3): 4-17, 43.
- [7] 石吕,张新月,孙惠艳,等. 不同类型水稻品种稻米蛋白质含量与蒸煮食味品质的关系及后期氮肥的效应[J]. *中国水稻科学*, 2019, 33(6): 541-552.
- [8] 徐红星,杨亚军,郑许松,等. 二十一世纪以来我国水稻虫害治理成就与展望[J]. *应用昆虫学报*, 2019, 56(6): 1163-1177.
- [9] 陈云,刘昆,张宏路,等. 机插密度和穗肥减量对优质食味水稻品种籽粒淀粉合成的影响[J]. *作物学报*, 2021, 47(8): 1540-1550.
- [10] GU J F, CHEN J, CHEN L, et al. Grain quality changes and responses to nitrogen fertilizer of japonica rice cultivars released in the Yangtze River Basin from the 1950s to 2000s[J]. *The Crop Journal*, 2015, 3: 285-297.
- [11] 从夕汉,施伏芝,阮新民,等. 氮肥水平对不同基因型水稻氮素利用率、产量和品质的影响[J]. *应用生态学报*, 2017, 28(4): 1219-1226.
- [12] ZHU D W, ZHANG H C, GUO B W, et al. Effect of nitrogen management on the structure and physicochemical properties of rice starch[J]. *J Agric Food Chem*, 2016, 64(42): 8019-8025.
- [13] 熊若愚,解嘉鑫,谭雪明,等. 不同灌溉方式对南方优质食味晚籼稻产量及品质的影响[J]. *中国农业科学*, 2021, 54(7): 1512-1524.
- [14] LUO H W, DU B, HE L X, et al. Exogenous application of zinc (Zn) at the heading stage regulates 2-acetyl-1-pyrroline (2-AP) biosynthesis in different fragrant rice genotypes[J]. *Scientific Reports*, 2019(9): 19513.
- [15] 李文博,刘少君,叶新新,等. 稻虾共作对水稻氮素累积及稻米品质的影响[J]. *生态与农村环境学报*, 2021, 37(5): 661-667.
- [16] LI M J, LI R H, LI S W, et al. Rice-duck co-culture benefits grain 2-acetyl-1-pyrroline accumulation and quality and yield enhancement of fragrant rice[J]. *The Crop Journal*, 2019, 7(4): 419-430.
- [17] 王赞,徐昌旭,周国朋,等. 连续种植翻压紫云英减施化肥对江西早稻产量、品质及土壤肥力的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2021, 27(10): 1735-1745.
- [18] 赵春芳,岳红亮,黄双杰,等. 南粳系列水稻品种的食味品质与稻米理化特性[J]. *中国农业科学*, 2019, 52(5): 909-920.
- [19] 唐健,唐闯,郭保卫,等. 氮肥施用量对机插优质晚稻产量和稻米品质的影响[J]. *作物学报*, 2020, 46(1): 117-130.
- [20] 马兆惠,张维本,程海涛,等. 通过养分管理调控水稻胚乳成分提高稻米食味品质[J]. *植物营养与肥料学报*, 2022, 28(1): 45-57.
- [21] 邹建祥,宁运旺,王孟兰,等. 商品有机肥连续部分替代化肥对水稻产量和氮肥效率的影响[J]. *江苏农业科学*, 2023, 51(2): 77-80.
- [22] 刘中良,高俊杰,陈震,等. 氮肥减量配施有机肥对大白菜产量、品质及氮肥利用率的影响[J]. *排灌机械工程学*, 2022, 40(11): 1138-1144.
- [23] 潘亚杰,朱晓辉,常会庆,等. 秸秆有机肥替代化学氮肥对菠菜生长和氮利用率的影响[J]. *江苏农业学报*, 2022, 38(3): 650-656.
- [24] 李虹,高华军,吕洪坤,等. 有机肥和品种互作对土壤微生物群落及雪茄烟叶生长和产量的影响[J]. *南方农业学报*, 2022, 53(6): 1552-1559.
- [25] 杨玉爱,何念祖,叶正钱. 有机肥对土壤锌、锰有效性的影响[J]. *土壤学报*, 1990, 27(2): 196-201.
- [26] 石鑫蕊,任彬彬,江琳琳,等. 有机肥替代部分化肥对水稻光合速率、氮素利用率和产量的影响[J]. *应用生态学报*, 2021, 32(1): 154-162.
- [27] 孟琳,张小莉,蒋小芳,等. 有机肥料氮替代部分无机氮对水稻产量的影响及替代率研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 2009, 15(2): 290-296.
- [28] 徐明岗,李冬初,李菊梅,等. 化肥有机肥配施对水稻养分吸收和产量的影响[J]. *中国农业科学*, 2008, 41(10): 3133-3139.
- [29] 李荣田,崔成焕,姜廷波,等. 水稻品种分蘖特性对产量影响分析[J]. *东北农业大学学报*, 1996, 27(1): 9-14.
- [30] 许轲,唐磊,张洪程,等. 不同机械直播方式对水稻分蘖特性及产量的影响[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(13): 43-52.
- [31] 侯红乾,冀建华,刘秀梅,等. 不同比例有机肥替代化肥对水稻产量和氮素利用率的影响[J]. *土壤*, 2020, 52(4): 758-765.
- [32] 任科宇,陆东明,邹洪琴,等. 有机替代对长江流域水稻产量和籽粒含氮量的影响[J]. *农业资源与环境学报*, 2022, 39(4): 716-725.
- [33] 陈贵,张红梅,沈亚强,等. 猪粪与牛粪有机肥对水稻产量、养分利用和土壤肥力的影响[J]. *土壤*, 2018, 50(1): 59-65.
- [34] 徐令旗,郭晓红,张佳柠,等. 不同有机肥对旱直播水稻品质的影响[J]. *华北农学报*, 2022, 37(1): 137-146.
- [35] TONG C, CHEN Y L, TANG F F, et al. Genetic diversity of amylose content and RVA pasting parameters in 20 rice accessions grown in Hainan, China[J]. *Food Chemistry*, 2014, 161(11): 239-245.
- [36] 唐先干,谢金水,徐昌旭,等. 红壤性稻田紫云英与化肥减施对早稻品质与养分吸收的影响[J]. *中国水稻科学*, 2021, 35(5): 466-474.
- [37] SINGH N, PAL N, MAHAJAN G, et al. Rice grain and starch properties: effects of nitrogen fertilizer application[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2011, 86(1): 219-225.
- [38] 卜容燕,韩上,程文龙,等. 皖南单季稻区种植利用紫云英对水稻产量、氮肥利用率及稻米品质的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2022(8): 184-190.
- [39] 杜少平,马忠明,薛亮,等. 不同有机肥对砂田西瓜产量、品质和养分吸收的影响[J]. *应用生态学报*, 2019, 30(4): 1269-1277.
- [40] 韩晓日,郑国砥,刘晓燕,等. 有机肥与化肥配合施用土壤微生物量氮动态、来源和供氮特征[J]. *中国农业科学*, 2007, 40(4): 765-772.

(责任编辑:徐艳)