

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2023.02.007

文春燕, 熊运华, 王萍, 等. 减施化肥配施不同有机肥对优质籼稻产量和品质的影响. 土壤, 2023, 55(2): 280–287.

减施化肥配施不同有机肥对优质籼稻产量和品质的影响^①

文春燕¹, 熊运华¹, 王萍², 张志英¹, 姚晓云¹, 彭志勤¹, 陈金², 吴延寿^{1,2*}

(1 江西省农业科学院水稻研究所, 南昌 330200; 2 国家红壤改良工程技术研究中心, 南昌 330200)

摘要: 为比较减施化肥配施商品有机肥和生物有机肥对优质籼稻产量和品质的影响差异, 以 6 个不同类型优质籼稻品种作为供试材料, 设置不施肥(CK)、单施化肥(CF)、商品有机肥和化肥按氮含量 1 : 1 配施(SF)、生物有机肥和化肥按氮含量 1 : 1 配施(WF) 4 个处理, 结果表明: ①施肥能够显著提高优质籼稻产量, 但对比单施化肥处理配施有机肥显著降低所有品种的产量, 其中配施生物有机肥处理产量较配施商品有机肥呈增产趋势, 但不显著。②相对于化肥处理, 配施有机肥通过提高籼米整精米率、垩白粒率和垩白度改善了籼米加工品质并降低了外观品质, 少数品种达显著水平。③配施有机肥较化肥处理具有延长籼米胶稠度的趋势, 但不显著, 并在配施生物有机肥下达最长, 但绝大多数品种的蛋白质含量却较化肥处理显著降低, 从而提高米饭的适口性。④配施有机肥能提高籼米峰值黏度和崩解值, 降低消减值和糊化温度, 虽然变化不显著, 但使得籼米 RVA 谱特征值接近不施肥处理的水平, 有利于改善籼米食味品质, 特别是配施生物有机肥更为接近。

关键词: 优质籼稻; 减施化肥; 商品有机肥; 生物有机肥; 产量; 籼米品质

中图分类号: S-3 文献标志码: A

Effects of Reduced Chemical Fertilizer with Organic Fertilizer Application on Yield and Quality of High-quality Indica Rice

WEN Chunyan¹, XIONG Yunhua¹, WANG Ping², ZHANG Zhiying¹, YAO Xiaoyun¹, PENG Zhiqin¹, CHEN Jin², WU Yanshou^{1,2*}
(1 Rice Research Institute, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang 330200, China; 2 National Engineering and Technology Research Center for Red Soil Improvement, Nanchang 330200, China)

Abstract: In order to study the influence of reduced chemical fertilizer with commercial organic fertilizers and bio-organic fertilizers on the yield and quality of high-quality indica rice, a field experiment was conducted in which six high-quality indica rice varieties and 4 fertilizer treatments were designed, including no fertilization (CK), chemical fertilizer (CF), apply commercial organic fertilizer and chemical fertilizer according to 1 : 1 nitrogen content (SF), and apply bio-organic fertilizer and chemical fertilizer according to 1 : 1 nitrogen content (WF). The results show that: 1) Fertilization significantly improves the yield of high-quality indica rice. Compared with CF, the combined application of organic fertilizer significantly decreases the yields of all varieties, whereas the rice yield in combined application of bio-organic fertilizer is slightly higher than that of commercial organic fertilizer. 2) Compared with CF, the combined application of organic fertilizer improves rice processing quality and reduces the appearance quality by increasing rice milling rate, chalkiness rate and chalkiness degree, and a few varieties reach the significant level. 3) Compared with CF, the combined application of organic fertilizer increases rice gel consistency, and the combined application of bio-organic fertilizer reaches the maximum. However, the protein contents of most varieties are significantly lower than CF, thereby improving the palatability of rice. 4) Compared with CF, combined application of organic fertilizer increases the peak viscosity and breakdown, decreases setback and pasting temperature, while the RVA profile characteristics of rice is close to the level of no fertilization treatment. In conclusion, the combined application of organic fertilizers can improve the taste quality of rice, especially the combined application of microbial organic fertilizers.

Key words: High-quality indica rice; Reducing chemical fertilization; Commercial organic fertilizer; Bio-organic fertilizer; Yield; Rice quality

①基金项目: 江西省重点研发计划项目(20201BBF61001)和国家红壤改良工程技术研究中心开放课题(2020NETRCRSI-11)资助。

* 通讯作者(yanshou@126.com)

作者简介: 文春燕(1995—), 女, 江西会昌人, 硕士, 助理研究员, 主要从事水稻营养与遗传研究。E-mail: wenchunyan0422@163.com

水稻作为全球三大粮食作物之一,为保障世界粮食安全作出了重大贡献^[1]。随着社会不断进步和生活水平不断提高,水稻生产目标也由高产转变成优质、高产、生态^[2],人们对大米需求也由吃得饱转变为吃得好,这无疑是对稻米品质的考验^[3]。目前全国各地育种家正致力于培育高产优质水稻品种,而优良品种必须通过科学的栽培措施才能充分发挥其潜力^[4]。施肥是水稻生产中重要栽培措施之一,长期化肥滥用造成了土壤酸化、板结、水体富营养化等环境问题^[5],这与我国水稻生产绿色生态发展趋势背道而驰;传统有机肥施用又存在速效养分含量低、肥效释放缓慢、增产不显著等问题^[6]。有机无机肥配施则结合了化肥和有机肥两者优点,具有养分供应平衡、肥料利用率高,改良土壤理化性质、增加土壤有机质含量和养分有效性,促进作物生长、提高作物品质的功效,并对减少环境污染也有不可低估的作用^[7-8]。大量研究表明,不同有机无机肥配施对水稻产量、米质有一定影响。高菊生等^[9]研究发现长期不同施肥后,稻谷产量随着施肥量的增加而增加,其中有机无机肥配施处理产量始终保持最高。Deng 等^[10]研究发现施用有机肥能增加水稻干物质质量,提高结实率,增加千粒重。赵秀哲等^[11]研究表明追加施用商品有机肥能提高稻米精米率和整精米率,降低垩白粒率。唐雪^[12]研究表明,施用生物有机肥能改善最高黏度和热浆黏度,提高稻米食味值;豆粕施用能显著提高稻米中蛋白质和氨基酸含量。因此,有机无机肥配施不仅能满足我国粮食高产需求、提升稻米品质,还能缓解水稻生产带来的资源环境压力,也是实现我国水稻绿色发展和粮食生产供给侧结构优化调整的一条有效途径。

生物有机肥是集有机肥和功能微生物为一体的新型肥料,与化肥配施具有“四两拨千斤”之效^[13-14]。通过微生物的活动,具有促进植物养分吸收、抑制病原菌、提高肥料利用率、改良土壤等优点,已广泛应用于果蔬栽培^[15-16],但水稻上应用较少。本研究采用 6 个不同类型的优质籼稻品种开展不同类型有机肥配施减量化肥试验,全面比较商品有机肥和生物有机肥与化肥配施对水稻产量和品质的影响,以期生物肥料在水稻绿色栽培方面提供可推广的依据,实现稻米的增值之路,为优质稻米食味提升、高效绿色生产探索可行性路径。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2021 年在进贤县温圳镇杨溪村开展(海

拔 26 m,地理位置为 28°20'12"N、116°05'30"E)。供试土壤为第四纪红色黏土发育的潜育型水稻土,pH 5.14,有机质 28 g/kg,全氮 2.73 g/kg,碱解氮 333 mg/kg,有效磷 35.1 mg/kg,速效钾 188 mg/kg。地处亚热带湿润气候,年平均气温 17.5 °C,年降水量 1 600~1 800 mm。种植制度为双季稻连作。

1.2 试验材料

供试水稻品种:优质常规香稻“美香占 2 号”“桂野丰”和“粤良珍禾”;优质常规稻“七星粳”和“丝占”;杂交优质稻“野香优靓占”。

供试肥料:氮肥选用尿素(N 460 g/kg);磷肥选用过磷酸钙(P_2O_5 120 g/kg);钾肥选用氯化钾(K_2O 600 g/kg);商品有机肥(腐熟秸秆)购于当地农资部门,pH 6.8,有机质 405 g/kg,N 19 g/kg, P_2O_5 32 g/kg, K_2O 16 g/kg;生物有机肥为南京农业大学自主研发的木霉生物有机肥(淮安柴米河农业科技股份有限公司生产),pH 7.8,有机质 429 g/kg,有效活菌数 5×10^7 cfu/g,N 13.5 g/kg, P_2O_5 19 g/kg, K_2O 15.3 g/kg。

1.3 试验设计

采用裂区设计,肥料为主处理,品种为副处理。设置不施肥(CK)、化肥(CF)、商品有机肥和化肥氮按 1:1 配施(SF)、生物有机肥和化肥氮按 1:1 配施(WF) 4 个处理,每处理重复 3 次,共 12 个小区,每个小区面积 150 m²,小区内等面积随机排列 6 个品种。除 CK 外各施肥处理总养分使用量相同,以等氮量为基准施用 N 150 kg/hm², P_2O_5 126 kg/hm², K_2O 120 kg/hm²,磷、钾部分不足用化肥补足。其中商品有机肥、生物有机肥和磷肥用作底肥一次性基施,氮肥按基肥、分蘖肥和穗肥 3:4:3 施用,钾肥则以 2:5:3 的比例施用。

试验于 6 月 25 日播种,7 月 20 日移栽。移栽前做好小区田埂,埂宽 25 cm,埂高 20 cm,并用塑料薄膜覆盖垆体以防渗水,各小区单独排灌。所有品种采用人工移栽的方法,栽插规格为 16.7 cm × 20 cm。田间灌溉、除草剂和农药按照当地传统方法开展,确保田间需水量,无杂草和病虫害。

1.4 测定内容与方法

1.4.1 测产与考种 水稻完全成熟后每小区随机单独收取除边行外的 5 蔸,调查有效穗数、每穗粒数、实粒数、空粒数和千粒重等产量构成因素,计算理论产量;其他除边行外的所有植株收获后计算实际产量。

1.4.2 稻米品质测定 收获后的稻谷样品在室温下保存 3 个月,待其理化特性趋于稳定后,参照《GB/T

17891—2017 优质稻谷》^[17]中的方法测定稻米品质指标。分别测定出糙率、精米率、整精米率、垩白粒率、垩白度、长宽比、胶稠度、直链淀粉含量等。流动分析仪(AA3)测定稻米全氮含量,以换算系数 $K = 5.95$ 折合成蛋白质含量。采用 RVA-4 型快速黏度分析仪(Newport Scientific 仪器公司生产,澳大利亚)测定 RVA 特征谱值,用 TCW(Thermal Cycle for Windows)配套软件进行分析。每个样品重复 2 次,取平均值。

1.5 数据分析

采用 Microsoft Excel 2010 软件整理数据并绘图;运用 SPSS 23.0 软件对数据进行单因素方差分析,差异显著性分析用 Duncan 法($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同有机肥配施化肥对优质籼稻产量及其构成因素的影响

不同肥料施用条件下各籼稻品种的产量及构成因素如表 1 所示。各籼稻品种实割产量在处理间

均表现为 $CF > WF \geq SF > CK$, 配施有机肥处理产量均显著低于单施化肥处理,但显著高于不施肥处理,两种配施有机肥处理间无显著差异。在总施氮量不变情况下,所有品种配施商品有机肥和生物有机肥处理的实际产量较化肥分别减产 6.40%~15.5% 和 4.17%~14.2%。减产程度因品种而异,其中“野香优靓占”和“丝占”减产较少,“粤良珍禾”减产幅度最大;配施生物有机肥较配施商品有机肥相比呈增产趋势,但无显著性差异。

从产量构成因子上看,减施化肥配施有机肥与单施化肥处理间各品种有效穗和穗粒数无显著性差异,大多品种甚至与不施肥处理无明显差异。施肥处理间各品种结实率也无明显差异,但均稍高于不施肥处理,减施化肥配施有机肥也仅仅在“美香占 2 号”和“野香优靓占”品种上显著高于不施肥处理。千粒重基本不受施肥种类和施肥水平的影响,只有“美香占 2 号”在减施化肥配施生物有机肥和单施化肥处理显著高于不施肥处理。

表 1 不同有机肥配施下优质籼稻产量及其构成因素
Table 1 Yields and compositions of high quality indica rice under combined application of different organic fertilizers

品种	处理	有效穗数($10^4/\text{hm}^2$)	每穗粒数	结实率 (%)	千粒重(g)	实割产量(kg/hm^2)
美香占 2 号	CK	233 ± 6 c	123 ± 5 c	58.5 ± 5.3 b	17 ± 0.3 c	3 542 ± 157 c
	CF	373 ± 38 a	135 ± 14 bc	63.8 ± 1.1 ab	18.8 ± 0.2 a	6 063 ± 63 a
	SF	283 ± 25 bc	170 ± 16 a	68.4 ± 3.2 a	17.8 ± 0.2 bc	5 250 ± 63 b
	WF	317 ± 15 ab	157 ± 8 ab	67.7 ± 1.2 a	18 ± 0.5 ab	5 271 ± 95 b
桂野丰	CK	240 ± 35 a	138 ± 11 c	70.5 ± 3.2 b	18.4 ± 0.4 a	4 250 ± 63 c
	CF	217 ± 15 a	217 ± 5 a	74.2 ± 2.9 ab	17.8 ± 0.8 a	6 396 ± 95 a
	SF	243 ± 32 a	178 ± 9 b	77.2 ± 2.9 ab	18.4 ± 0.5 a	5 625 ± 63 b
	WF	277 ± 23 a	157 ± 19 bc	81.2 ± 1.3 a	18.5 ± 0.2 a	5 729 ± 157 b
粤良珍禾	CK	187 ± 32 b	152 ± 11 a	70.1 ± 4.5 a	20.1 ± 0.5 a	3 917 ± 95 c
	CF	267 ± 40 a	171 ± 25 a	78.3 ± 5.2 a	20.4 ± 0.2 a	6 604 ± 95 a
	SF	263 ± 23 ab	144 ± 10 a	78.6 ± 3.1 a	20.8 ± 0.7 a	5 583 ± 36 b
	WF	223 ± 21 ab	163 ± 3 a	80.3 ± 2.2 a	21 ± 0.3 a	5 667 ± 130 b
七星籼	CK	247 ± 32 a	176 ± 9 a	70.5 ± 2.3 b	17.1 ± 0.6 a	4 354 ± 130 c
	CF	283 ± 35 a	203 ± 18 a	71.6 ± 2.8 ab	17 ± 0.7 a	6 458 ± 95 a
	SF	267 ± 12 a	179 ± 6 a	77.8 ± 3.7 a	17.1 ± 0.2 a	5 750 ± 63 b
	WF	287 ± 35 a	189 ± 20 a	75.9 ± 1.2 ab	16.6 ± 0.6 a	6 000 ± 125 b
丝占	CK	227 ± 12 b	158 ± 20 a	48.7 ± 4 b	18.9 ± 0.4 a	4 229 ± 95 c
	CF	310 ± 30 a	154 ± 11 a	69.2 ± 5 a	20.6 ± 1 a	6 500 ± 125 a
	SF	330 ± 10 a	142 ± 21 a	64.6 ± 5.8 a	20.8 ± 0.4 a	6 083 ± 191 b
	WF	297 ± 45 ab	175 ± 19 a	61.9 ± 5.7 ab	20.4 ± 0.9 a	6 229 ± 36 ab
野香优靓占	CK	230 ± 26 b	151 ± 14 b	64.6 ± 2.5 b	19.4 ± 0.4 a	4 313 ± 63 c
	CF	323 ± 25 a	176 ± 17 ab	69.1 ± 1.9 ab	20.4 ± 0.8 a	7 000 ± 63 a
	SF	283 ± 6 a	173 ± 12 ab	72.6 ± 1.6 a	20.5 ± 0.3 a	6 271 ± 180 b
	WF	263 ± 25 ab	194 ± 14 a	72.1 ± 2.9 a	20.1 ± 0.4 a	6 354 ± 201 b

注:表中数据为均值±标准差;同列数据小写字母不同表示同一品种内处理间存在显著性差异($P < 0.05$)。下同。

2.2 不同有机肥配施化肥对优质籼稻加工和外观品质的影响

不同有机肥配施下稻米加工和外观品质如表 2 所示。各品种糙米率、精米率在施肥处理间基本相当,除“美香占 2 号”外,变动幅度基本维持在一个百分点之内,但 3 个施肥处理各品种的糙米率和精米率均高于不施肥处理,且在“美香占 2 号”和“桂野丰”中变化显著。各品种整精米率在各施肥处理间无显著差异,尽管差异不明显,除“美香占 2 号”和“丝占”外,有机肥处理均大于单施化肥处理,对大多数品种而言配施有机肥还是能提高稻米整精米率。3 个施肥处理基本不影响稻米的粒型,但不施肥会导致粒长变短,在一半品种中变短显著。除“丝占”外,各品种的垩白粒率和垩白度在单施化肥处理下表现出最低,“美香占 2 号”垩白粒率降低程度显著,“野香优靛占”垩白度降低程度显著。综上可知,对大部分品种,有机肥配施能提高稻米整精米率,但不显著;配施有机肥相对于单施化肥垩白粒率和垩白度增加,使得稻米外观品质有所下降。

2.3 不同有机肥配施化肥对优质籼稻蒸煮和营养品质的影响

不同肥料处理的所有品种稻米蒸煮和营养品质数据如表 3 所示。各品种稻米胶稠度大小均表现为 $WF > SF > CF > CK$, 生物有机肥配施处理较单施化肥处理增长 6.18%~9.03%, 且“桂野丰”和“粤良珍禾”两个品种的生物有机肥配施处理显著高于其他处理。除“桂野丰”的不施肥处理,其他品种稻米直链淀粉含量受施肥种类和施肥水平影响较小,基本在一个百分点上下波动,仍然维持在食味较好的值域内,具体变化表现为:美香占 2 号 $CK \geq WF \approx CF > SF$, 桂野丰则 $WF \approx SF \approx CF > CK$, 丝占 $WF \geq SF \approx CK > CF$ 。除“桂野丰”和“丝占”外,其他籼稻品种有机肥配施处理较单施化肥处理蛋白质含量降低显著;所有籼稻品种生物有机肥配施处理蛋白质含量略高于商品有机肥配施处理,但仍处于基本相当的水平。综上所述,有机肥配施能够延长稻米胶稠度并在配施生物有机肥处理下达最高;有机肥配施处理相对于单施化肥能够降低稻米蛋白质含量,从而提高米饭的适口性。

表 2 不同有机肥配施下优质籼稻加工和外观品质

Table 2 Processing and appearance qualities of high quality indica rice under combined application of different organic fertilizers

品种	处理	糙米率 (%)	精米率 (%)	整精米率 (%)	粒长 (mm)	长宽比	垩白粒率 (%)	垩白度 (%)
美香占 2 号	CK	71.9 ± 0.5 c	59.2 ± 0.3 c	41.6 ± 0.9 b	5.77 ± 0.04 b	3.35 ± 0.02 a	8.33 ± 0.67 a	1.92 ± 0.20 a
	CF	76.5 ± 0.6 a	65.4 ± 1.0 a	47.0 ± 1.5 a	6.10 ± 0.02 ab	3.49 ± 0.03 a	4.58 ± 0.41 b	0.94 ± 0.17 b
	SF	74.9 ± 0.8 b	63.3 ± 1.0 b	46.3 ± 0.7 a	6.27 ± 0.31 a	3.66 ± 0.25 a	7.66 ± 0.82 a	1.42 ± 0.55 ab
	WF	75.2 ± 0.1 ab	64.2 ± 0.4 ab	45.6 ± 1.9 a	5.99 ± 0.03 ab	3.43 ± 0.01 a	6.87 ± 0.61 a	1.46 ± 0.27 ab
桂野丰	CK	71.1 ± 0.5 b	55.7 ± 1.1 b	29.5 ± 1.2 c	6.17 ± 0.06 b	3.76 ± 0.02 a	7.72 ± 0.02 a	1.59 ± 0.13 a
	CF	72.8 ± 0.4 a	59.5 ± 0.2 a	30.8 ± 0.6 bc	6.49 ± 0.13 a	3.84 ± 0.09 a	4.58 ± 0.27 b	0.87 ± 0.25 b
	SF	73.0 ± 0.9 a	60.1 ± 0.6 a	31.9 ± 0.8 ab	6.39 ± 0.08 ab	3.81 ± 0.04 a	6.12 ± 0.74 ab	1.37 ± 0.23 ab
	WF	72.9 ± 0.4 a	60.4 ± 0.3 a	33.5 ± 0.6 a	6.44 ± 0.06 a	3.76 ± 0.04 a	5.03 ± 0.97 b	1.35 ± 0.15 ab
粤良珍禾	CK	74.2 ± 0.3 b	63.5 ± 0.1 b	38.6 ± 1.6 b	6.19 ± 0.05 b	3.72 ± 0.01 a	4.15 ± 0.28 a	0.99 ± 0.24 a
	CF	76.2 ± 0.8 a	65.6 ± 0.7 a	41.1 ± 1.4 ab	6.48 ± 0.07 a	3.80 ± 0.05 a	3.77 ± 0.26 a	0.97 ± 0.08 a
	SF	75.1 ± 0.5 ab	65.1 ± 0.3 a	42.6 ± 0.3 a	6.45 ± 0.08 a	3.81 ± 0.03 a	4.34 ± 0.26 a	0.96 ± 0.14 a
	WF	75.4 ± 0.7 ab	65.1 ± 0.4 a	43.3 ± 0.4 a	6.51 ± 0.08 a	3.75 ± 0.02 a	3.90 ± 0.44 a	0.85 ± 0.15 a
七星籼	CK	72.6 ± 0.3 a	57.0 ± 0.3 b	27.3 ± 0.7 b	6.13 ± 0.04 b	3.90 ± 0.04 a	15.5 ± 0.6 a	3.94 ± 0.40 a
	CF	74.6 ± 0.9 a	61.0 ± 1.5 a	29.8 ± 1.3 ab	6.31 ± 0.04 a	3.97 ± 0.01 a	11.4 ± 0.6 b	2.86 ± 0.81 a
	SF	73.9 ± 0.9 a	59.4 ± 1.1 ab	30.0 ± 0.8 ab	6.23 ± 0.10 ab	3.95 ± 0.07 a	13.0 ± 1.0 b	3.36 ± 0.39 a
	WF	74.3 ± 0.7 a	59.7 ± 0.9 ab	30.4 ± 1.4 a	6.26 ± 0.02 ab	3.95 ± 0.02 a	13.1 ± 1.0 b	3.77 ± 0.55 a
丝占	CK	73.6 ± 0.3 b	62.4 ± 0.4 b	49.9 ± 0.4 b	5.95 ± 0.11 b	3.32 ± 0.15 a	12.3 ± 1.3 a	2.75 ± 0.41 a
	CF	74.6 ± 0.8 ab	64.0 ± 1.2 ab	53.1 ± 0.8 a	6.18 ± 0.08 a	3.32 ± 0.05 a	8.62 ± 0.83 b	2.08 ± 0.18 ab
	SF	75.4 ± 0.8 a	64.7 ± 0.3 a	52.9 ± 0.7 a	6.16 ± 0.06 a	3.32 ± 0.02 a	6.88 ± 0.56 b	1.63 ± 0.19 b
	WF	75.2 ± 0.4 ab	64.6 ± 0.6 a	52.9 ± 0.3 a	6.18 ± 0.03 a	3.31 ± 0.03 a	8.13 ± 0.43 b	2.08 ± 0.18 ab
野香优靛占	CK	74.1 ± 0.3 a	61.5 ± 0.4 a	32.0 ± 2.3 c	6.27 ± 0.03 b	3.74 ± 0.00 a	4.91 ± 0.34 ab	1.09 ± 0.16 ab
	CF	75.0 ± 1.2 a	63.6 ± 1.2 a	34.0 ± 2.1 bc	6.56 ± 0.06 a	3.85 ± 0.07 a	3.08 ± 0.60 b	0.53 ± 0.18 b
	SF	75.4 ± 0.9 a	63.6 ± 0.9 a	45.3 ± 2.3 a	5.95 ± 0.00 c	3.44 ± 0.04 b	6.72 ± 1.27 a	1.67 ± 0.45 a
	WF	75.2 ± 0.6 a	63.5 ± 0.8 a	38.4 ± 1.0 b	6.54 ± 0.00 a	3.82 ± 0.02 a	5.17 ± 1.01 ab	1.22 ± 0.03 a

表 3 不同有机肥配施下优质籼稻蒸煮和营养品质
Table 3 Cooking and nutritional qualities of high quality indica rice under combined application of different organic fertilizers

品种	处理	胶稠度(mm)	直链淀粉含量(%)	蛋白质含量(%)
美香占 2 号	CK	53.8 ± 1.6 b	17.8 ± 0.5 a	5.65 ± 0.12 c
	CF	61.5 ± 4.4 ab	16.4 ± 0.2 ab	8.47 ± 0.09 a
	SF	61.9 ± 5.5 ab	16.0 ± 1.2 b	6.64 ± 0.05 b
	WF	66.9 ± 2.7 a	17.2 ± 0.2 ab	6.82 ± 0.23 b
桂野丰	CK	57.5 ± 2.5 c	11.9 ± 1.0 b	5.94 ± 0.21 b
	CF	62.0 ± 0.9 b	14.8 ± 0.2 a	7.34 ± 0.70 a
	SF	65.5 ± 1.2 ab	15.1 ± 0.3 a	6.75 ± 0.31 ab
	WF	67.6 ± 1.3 a	15.1 ± 0.5 a	6.65 ± 0.10 ab
粤良珍禾	CK	55.5 ± 1.5 b	16.2 ± 0.5 a	6.59 ± 0.35 b
	CF	58.2 ± 1.3 b	16.1 ± 0.8 a	8.52 ± 0.31 a
	SF	58.5 ± 1.0 b	16.3 ± 0.8 a	6.65 ± 0.25 b
	WF	63.9 ± 1.5 a	17.6 ± 0.4 a	6.74 ± 0.10 b
七星粳	CK	57.0 ± 2.8 a	13.9 ± 0.3 a	6.06 ± 0.23 b
	CF	56.5 ± 2.4 a	14.4 ± 0.6 a	8.59 ± 1.05 a
	SF	56.8 ± 0.7 a	13.7 ± 1.0 a	6.79 ± 0.39 b
	WF	61.6 ± 1.1 a	15.0 ± 0.2 a	6.82 ± 0.12 b
丝占	CK	68.9 ± 1.8 a	15.5 ± 0.4 ab	6.06 ± 0.32 a
	CF	69.6 ± 2.0 a	14.9 ± 0.5 b	7.03 ± 0.67 a
	SF	71.6 ± 2.6 a	15.8 ± 0.0 ab	6.99 ± 0.17 a
	WF	73.9 ± 1.5 a	16.4 ± 0.4 a	7.00 ± 0.07 a
野香优靓占	CK	62.4 ± 1.7 a	15.6 ± 0.9 a	6.44 ± 0.47 b
	CF	62.9 ± 3.9 a	16.3 ± 1.1 a	9.52 ± 0.48 a
	SF	64.3 ± 2.7 a	15.8 ± 0.8 a	7.19 ± 0.21 b
	WF	67.1 ± 1.0 a	16.6 ± 0.2 a	7.23 ± 0.20 b

2.4 不同有机肥配施化肥对优质稻米 RVA 特征值的影响

RVA 特征值能够反映稻米的食味品质, 各处理的所有品种的 RVA 特征值的监测结果如表 4 所示。单施化肥处理相对于不施肥处理各品种 RVA 特征值中的峰值黏度、热浆黏度、崩解值呈下降趋势, 且在“野香优靓占”中下降显著; 而消减值和糊化温度则呈增加趋势, 一半品种的消减值增加显著。相对于单施化肥处理, 除“粤良珍禾”的热浆黏度和最终黏度在有机肥配施处理下减少外, 其余品种的峰值黏度、热浆黏度、最终黏度、崩解值均呈增加趋势, 消减值和糊化温度呈减少趋势, 且生物有机肥配施增减幅度大于商品有机肥配施, 但二者增加或减少均不显著。总之, 配施有机肥能使稻米 RVA 特征值接近于不施肥处理水平, 其中配施生物有机肥处理下的 RVA 特征值则更为接近。

3 讨论

3.1 不同有机肥配施化肥对优质籼稻产量及其构成因素的影响

农业有机废弃物循环利用是我国减少化肥用量、

保持土壤肥力的主要方法, 也是提高作物产量、改善土壤质量的有效措施^[18-20]。不同有机肥配施对水稻产量的影响存在差异: 魏文良等^[21]对我国粮食作物在不同施肥处理下产量变化的相关研究可知, 施肥显著提高了作物产量, 化肥和有机无机肥配施处理间无显著性差异; 但张小莉等^[22]和 Wei 等^[20]研究表明有机无机肥配施能显著提高稻谷产量, 提高结实率, 增加千粒重, 并且不同原料复混肥表现的增产效应不同。在本研究中, 对比单施化肥处理, 减施化肥配施有机肥处理下所有品种减产显著, 但不同品种减产幅度不同, 其中“粤良珍禾”减产最多。综合不同处理的农艺性状, 其深层次原因可能为化学肥料为速效性肥料, 纯施化肥能够快速提供养分供水稻生长, 而有机肥养分供应速度较慢, 难以及时满足水稻生长所需养分。相关研究发现过量有机肥替代化肥处理下水稻产量低于单施化肥, 肥料运筹中有机氮与化肥氮按 N 含量 3 : 7 的比例施用利于稳产^[23-24], 而本研究有机氮与化肥氮比例较高为 1 : 1, 同时各处理遵循常规化肥管理模式限制了有机肥发挥其最大作用, 导致短期内配施有机肥处理下的产量低于纯施化肥处理。本研究中配施生物有机肥的产量稍高于配施商品有机

表 4 不同有机肥配施下优质籼稻稻米淀粉 RVA 谱特征值
Table 4 RVA profile characteristics of high quality indica rice under combined application of different organic fertilizers

品种	处理	峰值黏度(cP)	热浆黏度(cP)	最终黏度(cP)	崩解值(cP)	消减值(cP)	糊化温度(°C)
美香占 2 号	CK	3 174 ± 53 ab	1 740 ± 12 a	2 803 ± 25 a	1 434 ± 52 a	-371 ± 78 a	74.2 ± 0.4 b
	CF	3 028 ± 11 b	1 611 ± 35 b	2 710 ± 44 a	1 417 ± 34 a	-318 ± 47 a	75.8 ± 0.5 a
	SF	3 296 ± 151 a	1 718 ± 78 ab	2 728 ± 83 a	1 578 ± 145 a	-568 ± 182 a	75.3 ± 0.4 ab
	WF	3 349 ± 85 a	1 733 ± 30 a	2 772 ± 72 a	1 616 ± 107 a	-577 ± 151 a	74.5 ± 0.4 b
桂野丰	CK	3 632 ± 72 ab	1 997 ± 110 a	2 957 ± 128 a	1 635 ± 80 a	-675 ± 81 b	76.3 ± 0.8 a
	CF	3 307 ± 124 b	1 956 ± 50 a	3 007 ± 56 a	1 351 ± 150 a	-300 ± 178 a	77.7 ± 0.5 a
	SF	3 781 ± 224 a	2 100 ± 149 a	3 174 ± 123 a	1 681 ± 183 a	-607 ± 165 ab	76.3 ± 0.9 a
	WF	3 653 ± 86 ab	2 001 ± 113 a	3 034 ± 118 a	1 652 ± 106 a	-619 ± 98 ab	76.4 ± 0.0 a
粤良珍禾	CK	3 277 ± 55 b	1 949 ± 35 a	2 950 ± 27 a	1 328 ± 25 b	-327 ± 34 b	76.1 ± 0.5 a
	CF	3 211 ± 92 b	1 938 ± 111 a	3 079 ± 100 a	1 273 ± 20 b	-133 ± 11 a	76.0 ± 0.9 a
	SF	3 348 ± 71 ab	1 917 ± 64 a	2 999 ± 88 a	1 431 ± 35 ab	-349 ± 44 b	75.6 ± 0.0 a
	WF	3 483 ± 52 a	1 920 ± 71 a	3 028 ± 73 a	1 563 ± 122 a	-454 ± 124 b	75.3 ± 1.0 a
七星籼	CK	3 226 ± 34 b	1 695 ± 62 a	2 637 ± 48 a	1 531 ± 94 ab	-589 ± 82 ab	76.9 ± 0.5 ab
	CF	3 117 ± 114 b	1 739 ± 67 a	2 762 ± 42 a	1 377 ± 66 b	-355 ± 117 a	77.9 ± 0.8 a
	SF	3 370 ± 232 ab	1 802 ± 105 a	2 859 ± 155 a	1 568 ± 191 ab	-511 ± 210 ab	77.4 ± 0.5 ab
	WF	3 547 ± 28 a	1 792 ± 35 a	2 778 ± 53 a	1 756 ± 63 a	-769 ± 80 b	76.3 ± 0.0 b
丝占	CK	3 254 ± 66 a	1 407 ± 41 a	2 375 ± 59 a	1 847 ± 98 a	-879 ± 124 a	83.0 ± 0.5 a
	CF	3 051 ± 60 a	1 396 ± 52 a	2 381 ± 101 a	1 655 ± 60 a	-670 ± 129 a	83.3 ± 0.4 a
	SF	3 213 ± 179 a	1 489 ± 78 a	2 525 ± 149 a	1 724 ± 130 a	-687 ± 174 a	83.3 ± 0.5 a
	WF	3 326 ± 218 a	1 441 ± 57 a	2 484 ± 78 a	1 884 ± 168 a	-842 ± 167 a	83.3 ± 0.5 a
野香优靓占	CK	3 420 ± 211 a	1 899 ± 184 a	2 909 ± 209 a	1 520 ± 85 a	-511 ± 109 b	75.3 ± 0.4 a
	CF	3 035 ± 90 b	1 738 ± 133 a	2 826 ± 123 a	1 297 ± 54 b	-210 ± 41 a	75.8 ± 0.5 a
	SF	3 197 ± 26 ab	1 869 ± 34 a	2 923 ± 50 a	1 328 ± 58 b	-274 ± 68 a	76.3 ± 0.0 a
	WF	3 337 ± 85 ab	1 904 ± 89 a	2 966 ± 44 a	1 433 ± 53 ab	-371 ± 44 ab	75.5 ± 0.8 a

肥处理但无显著性差异,主要原因可能为生物有机肥中的微生物可产生植物激素等活性物质促进水稻对养分的吸收利用,从而提高水稻产量,但因试验时长较短,产量提高效果不显著,后续可开展长期研究。

3.2 不同有机肥配施对优质籼稻稻米品质的影响

稻米品质除受品种本身遗传特性影响外,还受各种栽培措施的影响,其中肥料的施用是影响稻米品质的重要因素之一^[25-26]。本研究中,肥料施用能提高稻米糙米率、精米率和整精米率,对比单施化肥处理,配施有机肥对糙米率和精米率影响不显著,但能提高稻米整精米率,改善稻米加工品质,这与前人研究结果相同^[27],对优质稻米生产意义重大。同时,施肥能增加稻米粒长、降低垩白度和垩白粒率;但配施有机肥各品种垩白度和垩白粒率增加,外观品质有所降低,可能是因为配施有机肥水稻生长前期土壤肥效延缓释放,导致后期氮素累积水稻贪青晚熟,晚稻生长后期温度和光照有所减弱,增加了稻米垩白度和垩白粒率。所以,在绿色优质稻米实际生产过程中,应尽

量选择稻米垩白度小于 1%的优质稻品种。稻米直链淀粉含量、胶稠度和蛋白质含量是评价稻米蒸煮营养品质的重要指标,总体而言本研究中施肥提高了稻米胶稠度和蛋白质含量。对比单施化肥处理,配施有机肥条件下稻米胶稠度呈增加趋势,并在配施生物有机肥处理下达最高,胶稠度较大使得米饭变软,食味变佳。而蛋白质含量比单施化肥处理显著减少,原因可能为土壤前期有效氮不足,影响水稻早期对养分的积累,进而影响到籽粒中的蛋白质含量^[6],蛋白质含量的降低能够减轻咀嚼的粗糙感从而提高米饭的适口性。

稻米 RVA 谱特征值作为评价稻米食味品质的一个重要理化指标,其峰值黏度大、崩解值大、消减值低和糊化温度低的特性代表米饭的食味品质更好^[28-29]。隋炯明等^[30]研究发现 RVA 谱特征值的崩解值、消减值等是通过影响米饭的柔软性、黏散性、滋味等而影响食味的优劣,崩解值高、消减值低的品种类型米饭软而黏,有弹性,适口性好,反之则食味品

质差。前人研究表明,随氮肥施用量的增加,稻米峰值黏度、热浆黏度、回复值和崩解值则随施氮量的增加而递减,消减值则递增^[28, 31]。本研究发现,单施化肥使稻米峰值黏度、热浆黏度、崩解值降低,而消减值和糊化温度升高,即稻米食味值变差。配施有机肥则更能提高稻米峰值黏度、崩解值,降低消减值和糊化温度,使稻米 RVA 谱接近不施肥处理水平,改善稻米食味品质,在配施生物有机肥处理下食味品质达最佳。由此可知,施用化肥会使稻米 RVA 特征值往变差方向发展,但配施有机肥有利于改善稻米食味品质,特别是配施生物有机肥。

4 结论

尽管减施化肥配施有机肥相对于单施化肥会降低水稻的产量,但是能够提高大多数稻米品种的加工品质和蒸煮品质,改善米饭食味品质,其中生物有机肥配施效果更佳。然而有机肥配施不利于稻米外观品质的提高,所以在实际生产中要选择垩白较低的优质稻品种开展有机无机肥配施种植。综合各处理的产量和稻米品质的变化,减施化肥配施有机肥尤其是配施生物有机肥可以较好地兼顾水稻经济效益和生态效益,不仅适宜于绿色大米的生产,还有利于培育双季稻区矿化和消耗严重的土壤肥力,促进农业可持续发展,符合当下农业农村绿色发展的趋势。

参考文献:

- [1] 王飞, 彭少兵. 水稻绿色高产栽培技术研究进展[J]. 生命科学, 2018, 30(10): 1129–1136.
- [2] 陈阜, 赵明. 作物栽培与耕作学科发展[J]. 农学学报, 2018, 8(1): 50–54.
- [3] Zeng D L, Tian Z X, Rao Y C, et al. Rational design of high-yield and superior-quality rice[J]. *Nature Plants*, 2017, 3: 17031.
- [4] 邹应斌. 长江流域双季稻栽培技术发展[J]. 中国农业科学, 2011, 44(2): 254–262.
- [5] Huang H, Jia Y, Sun G X, et al. Arsenic speciation and volatilization from flooded paddy soils amended with different organic matters[J]. *Environmental Science & Technology*, 2012, 46(4): 2163–2168.
- [6] 周江明. 有机-无机肥配施对水稻产量、品质及氮素吸收的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(1): 234–240.
- [7] Conacher J, Conacher A. Organic farming and the environment, with particular reference to Australia: A review[J]. *Biological Agriculture & Horticulture*, 2012, 16(2): 145–171.
- [8] 廖超林, 黎丽娜, 谢丽华, 等. 增减施有机肥对红壤性水稻土团聚体稳定性及胶结物的影响[J]. 土壤学报, 2021, 58(4): 978–988.
- [9] 高菊生, 黄晶, 董春华, 等. 长期有机无机肥配施对水稻产量及土壤有效养分影响[J]. 土壤学报, 2014, 51(2): 314–324.
- [10] Deng W, Qing X G, Yang Y. Effects of applying organic fertilizer on rice lodging resistance and yield[J]. *Agricultural Science & Technology*, 2010, 11(2): 98–101.
- [11] 赵秀哲, 王成瑗, 赵磊, 等. 不同生育时期追施有机肥对有机水稻产量及品质的影响[J]. 吉林农业科学, 2015, 40(6): 13–16, 112.
- [12] 唐雪. 不同有机肥对水稻产量、品质和生理性状的影响[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2020.
- [13] 安祥瑞, 江尚焘, 李焕苓, 等. 减施化肥配施有机肥对荔枝生长、产量品质及肥料利用率的影响[J]. 土壤, 2021, 53(6): 1174–1184.
- [14] Wang L, Li J, Yang F, et al. Application of bioorganic fertilizer significantly increased apple yields and shaped bacterial community structure in orchard soil[J]. *Microbial Ecology*, 2017, 73(2): 404–416.
- [15] 杨天杰, 王玉鑫, 王佳宁, 等. 不同基质生物有机肥防控番茄土传青枯病及促生效果研究[J]. 土壤, 2021, 53(5): 961–968.
- [16] 刘正洋, 王若斐, 乔策策, 等. 木霉生物有机肥对白菜和甘蓝产量及土壤微生物区系的影响[J]. 南京农业大学学报, 2020, 43(4): 650–657.
- [17] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 优质稻谷: GB/T 17897—2017. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [18] Matson P A, Parton W J, Power A G, et al. Agricultural intensification and ecosystem properties[J]. *Science*, 1997, 277(5325): 504–509.
- [19] Trewavas A. Urban myths of organic farming[J]. *Nature*, 2001, 410(6827): 409–410.
- [20] Wei W L, Yan Y, Cao J, et al. Effects of combined application of organic amendments and fertilizers on crop yield and soil organic matter: An integrated analysis of long-term experiments[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2016, 225: 86–92.
- [21] 魏文良, 刘路, 仇恒浩. 有机无机肥配施对我国主要粮食作物产量和氮肥利用效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2020, 26(8): 1384–1394.
- [22] 张小莉, 孟琳, 王秋君, 等. 不同有机无机复混肥对水稻产量和氮素利用率的影响[J]. 应用生态学报, 2009, 20(3): 624–630.
- [23] 侯红乾, 刘秀梅, 刘光荣, 等. 有机无机肥配施比例对红壤稻田水稻产量和土壤肥力的影响[J]. 中国农业科学, 2011, 44(3): 516–523.
- [24] 刘明月, 张凯鸣, 毛伟, 等. 有机肥长期等氮替代无机肥对稻麦产量及土壤肥力的影响[J]. 华北农学报, 2021, 36(3): 133–141.
- [25] 文春燕, 熊运华, 姚晓云, 等. 氮肥施用对米粉专用稻产量、米质及加工特性的影响[J]. 中国水稻科学, 2020, 34(6): 574–585.
- [26] Lanning S B, Siebenmorgen T J, Counce P A, et al. Extreme nighttime air temperatures in 2010 impact rice chalkiness and milling quality[J]. *Field Crops Research*,

- 2011, 124(1): 132–136.
- [27] 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.
- [28] 叶全宝, 张洪程, 李华, 等. 施氮水平和栽插密度对粳稻淀粉 RVA 谱特性的影响[J]. 作物学报, 2005, 31(1): 124–130.
- [29] 闫影, 张丽霞, 万常照, 等. 稻米淀粉 RVA 谱特征值及理化指标与食味值的相关性[J]. 植物生理学报, 2016, 52(12): 1884–1890.
- [30] 隋炯明, 李欣, 严松, 等. 稻米淀粉 RVA 谱特征与品质性状相关性研究[J]. 中国农业科学, 2005, 38(4): 657–663.
- [31] 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.