

刘红江, 裴晓芳, 丁雯丽, 等. 江苏优质稻区土壤理化性状对稻米品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2023, 39(4): 956-965.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2023.04.005

江苏优质稻区土壤理化性状对稻米品质的影响

刘红江¹, 裴晓芳^{2,3}, 丁雯丽², 郭智¹, 张岳芳¹, 盛婧¹, 周炜¹, 黄胜东⁴

(1.江苏省农业科学院农业资源与环境研究所/农业农村部江下游平原农业环境重点实验室, 江苏 南京 210014; 2.南京信息工程大学电子与信息工程学院, 江苏 南京 210044; 3.无锡学院电子信息工程学院, 江苏 无锡 214105; 4.江苏省农业科学院粮食作物研究所, 江苏 南京 210014)

摘要: 为了探索优良食味粳稻稻米品质与土壤理化性状之间的关系, 本研究在江苏省镇江市句容市后白镇圩区随机选取种植南粳 46、南粳 3908、南粳 5055 和南粳 9108 的 11 个具有代表性的水稻种植主体, 2020 年和 2021 年度对其土壤理化性状和稻米品质进行取样检测, 并分析主要指标之间的相关性。结果表明, 2 个试验年度, 11 个水稻种植主体土壤理化性状主要指标中, 总氮含量和总磷含量平均值分别为 1.60 g/kg 和 0.56 g/kg; 速效氮含量、速效磷含量、速效钾含量平均值分别为 110.5 mg/kg、11.42 mg/kg、133.4 mg/kg; 有机质含量平均值为 26.64 g/kg, 不同水稻种植主体土壤肥力状况差异显著。2 季水稻平均产量以南粳 46 最低, 为 9 248.1 kg/hm², 以南粳 3908 最高, 达到 9 812.8 kg/hm²; 2021 年水稻平均产量与 2020 年差异不显著。南粳 46 的稻米品质指标总体优于其他 3 个水稻品种, 综合食味值也最高, 品质较优, 但该品种垩白度和垩白粒率偏高。相关性分析结果表明, 土壤有机质含量高的水稻种植主体的稻田, 稻米整精米率、峰值黏度和热浆黏度高, 胶稠度大, 蛋白质含量低, 米质较好。综上, 就不同水稻品种而言, 南粳 46 稻米品质最优, 在肥力水平较高的土壤上种植南粳 46 能进一步提高其稻米品质, 但南粳 46 的产量总体偏低, 而南粳 3908 则相对兼顾了水稻产量和稻米品质。

关键词: 优质稻区; 土壤; 理化性状; 产量; 稻米品质

中图分类号: S511 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2023)04-0956-10

Effect of soil physical and chemical properties on rice quality in high quality rice producing areas of Jiangsu province

LIU Hong-jiang¹, PEI Xiao-fang^{2,3}, DING Wen-li², GUO Zhi¹, ZHANG Yue-fang¹, SHENG Jing¹, ZHOU Wei¹, HUANG Sheng-dong⁴

(1. Institute of Agricultural Resources and Environment, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences / Key Laboratory of Agro-Environment in Downstream of Yangtze Plain, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Nanjing 210014, China; 2. School of Electronic & Information Engineering, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China; 3. School of Electronic & Information Engineering, Wuxi University, Wuxi 214105, China; 4. Institute of Food Crops, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

Abstract: To explore the relationship between grain quality of japonica rice with good eating quality and soil physical

收稿日期: 2022-08-02

基金项目: 江苏省农业科技自主创新基金项目[CX(20)2002]; 南京信息工程大学无锡校区研究生创新实践项目(WXCX202010)

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. 裴晓芳为共同第一作者。

通讯作者: 黄胜东, (E-mail) 543796386@qq.com

and chemical properties, 11 representative rice planters who planted Nanjing 46, Nanjing 3908, Nanjing 5055 and Nanjing 9108 were randomly selected in the polder area of Houbai Town, Jurong City, Zhenjiang City of Jiangsu province in this study. Soil physical and chemical properties and rice qualities were sampled and tested in 2020 and 2021, and the correlation between the main factors was analyzed. The results showed that, among the main indexes

of soil physical and chemical properties of 11 rice planters, total nitrogen content and total phosphorus content were 1.60 g/kg, 0.56 g/kg respectively in the two experimental years. The average contents of available nitrogen, available phosphorus and available potassium were 110.5 mg/kg, 11.42 mg/kg, 133.4 mg/kg respectively, and average organic matter content was 26.64 g/kg. Differences of paddy soil nutrient conditions were significant between different rice planters. In the two seasons, the lowest average yield of rice was in Nanjing 46, which was 9 248.1 kg/hm², and the highest average yield of rice was in Nanjing 3908, which reached 9 812.8 kg/hm². The difference of average rice yield between 2021 and 2020 was not significant. The quality indexes of Nanjing 46 were better than the other three rice varieties on the whole, and the comprehensive taste value of Nanjing 46 was the highest. The quality of Nanjing 46 was relatively high, but both of its chalkiness degree and chalky grain rate were slightly high. Results of correlation analysis showed that, rice farm with high soil organic matter content had high head rice rate, peak viscosity and hot paste viscosity, and had high gel consistency of rice and low protein content, which showed good rice quality. All of above, Nanjing 46 grain had the best quality among different rice varieties, and planting Nanjing 46 in soil of high fertility can further improve its rice quality. However, the yield of Nanjing 46 was generally low, while Nanjing 3908 performed well in both rice yield and rice quality.

Key words: rice producing areas of high quality; soil; physical and chemical properties; yield; rice quality

水稻是中国主要的粮食作物,长期以来,其产量稳步提高,在保障国家粮食安全方面发挥了重要作用^[1]。江苏作为中国优质稻米主产区,其单产常年位居全国首位^[2],随着经济的迅速发展和人民生活水平的不断改善,老百姓对优质高档稻米的消费需求愈发强烈^[3]。进入 21 世纪以来,伴随一大批优质高产水稻新品种的育成,江苏优良食味水稻品种的种植面积在不断增加,已经超过水稻种植总面积的 1/3,为本地区优良食味水稻的生产提供了良好的前提条件^[4]。与此同时,轮作休耕^[5]、种植绿肥还田^[6]、施用有机肥^[7-8]和中微量元素肥料^[9-10]、稻田综合种养^[11-12]、病虫草害的绿色防控^[13-14]、稻田生物多样性布局^[15]等配套栽培技术措施的应用,也为优良食味水稻品种优质高产高效特性的稳定和提升提供了保障。此外,土壤作为水稻生长发育的载体,其质量也对水稻产量^[16]和稻米品质^[17]具有重要影响。目前为止,关于土壤理化性状与稻米品质间相关性的系统性研究较少。为此,本研究以苏南丘陵地区优良食味水稻生产基地为研究地点,2020 年和 2021 年在江苏省句容市后白镇选取了 11 个具有代表性的水稻种植主体,通过田间调查和取样检测相结合的方法,系统地比较研究了稻米主要品质指标和土壤主要理化性状指标的相关性,以期为优良食味水稻的产地选择,保证其优质高效种植,以及提升稻作生产的社会效益和经济效益提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究地点

研究于 2020 年和 2021 年在江苏省镇江市句容

市后白镇(31°48'N,119°12'E)进行,该区地形属于低山丘陵圩区,气候类型为亚热带湿润季风气候。常年平均气温 15.2℃,日平均气温高于 10℃,适宜作物生长期约 226 d。年降水量 1 058.8 mm,年平均光照时长 2 157 h。土壤类型为黄泥土,耕地多属肥沃圩田,适宜种植优质稻麦。

1.2 研究概况

2020 年和 2021 年在江苏省句容市后白镇圩区随机选取 11 个具有代表性的水稻种植主体,对其农田土壤及稻米等进行取样检测分析。按照所种植的水稻品种分为 4 类,其中南粳 46 有 4 个种植主体(A1、A2、A3、A4);南粳 3908 有 2 个种植主体(B1、B2);南粳 5055 有 3 个种植主体(C1、C2、C3);南粳 9108 有 2 个种植主体(D1、D2)。11 个种植主体 2 年间种植的水稻品种不变。水稻机械插秧,在每年 6 月中旬移栽,稻季水、肥、药等运筹方法按照当地优质高产栽培措施进行。不同种植主体结合土壤肥力状况与水稻苗情,氮(N)肥、磷(P₂O₅)肥、钾(K₂O)肥施用量分别为 240~320 kg/hm²、60~90 kg/hm²、120~150 kg/hm²,并实时进行病虫草害防控,各种种植主体水稻根据田间长势情况适期收获。

1.3 测定内容与方法

1.3.1 土壤理化性状的测定 在水稻种植开始前取样测定稻田土壤基础地力水平。有机质含量测定采用重铬酸钾容量法;总氮含量测定采用凯氏定氮法;总磷含量测定采用硫酸-高氯酸消煮法;氨态氮和硝态氮含量测定采用 KCl 浸提-靛酚蓝比色法。速效磷含量测定采用碳酸氢钠法。速效钾含量测定采用醋

酸铵-火焰光度法。

1.3.2 水稻产量的测定 在成熟期,对于不同水稻种植主体,在调查的基础上,选择有代表性的0.13~0.20 hm²长势均匀的田块,收获稻谷,称质量,测定含水率,折算成标准含水率,得到水稻实收产量。具体计算公式如下:水稻实收产量=收获稻谷鲜质量×(1-测得稻谷含水率)/(1-14.5%)/实际收割面积。

1.3.3 稻米品质指标的测定 稻谷收获后,风干,置留3个月后砻谷、碾米,按照《GB/T 17891-2017 优质稻谷》标准,测得糙米率(*BR*)、精米率(*MR*)和整精米率(*HMR*);使用东孚久恒扫描仪测定稻米的长(*KL*)和宽(*KW*),垩白粒率(*CR*)和垩白度(*CD*);同时测定米粉的胶稠度(*GC*)。用大米食味计(*SATAKE*,北京东孚久恒公司产品)测定稻米蛋白质含量(*PC*)及直链淀粉含量(*AC*)。

1.3.4 稻米淀粉黏滞特性指标的测定 稻米淀粉黏滞特性用快速黏度分析仪(*RVA*)(*Perten*,瑞典波通仪器公司产品)测定,参数设置依据AACC(美国谷物化学协会)规程(1995-61-02)标准方法。仪器直接读出的数据有:峰值黏度(*PV*)、热浆黏度(*TV*)、最终黏度(*FV*)、糊化温度(*PaT*)和峰值时间(*PeT*)。根据这些指标可计算得到:崩解值(*PV-TV*)、消减值(*SBV=FV-PV*)和回复值(*FV-TV*)。

1.3.5 米饭食味值(*RTV*)的测定 称量30.0 g精米,以米:水为1.00:1.25(体积比)添加去离子水,常温浸泡0.5 h,以日本品种越光大米作对照,用米饭食味计(*STA 1A*,佐竹-日本)检测米饭食味值。

1.4 数据分析

用Excel 2007 进行数据整理并作图,用SPSS 13.0 进行数据间的多重比较和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 稻田土壤理化性状

由表1可知,2020年和2021年度11个水稻种植主体农田土壤总氮含量为1.18~2.12 g/kg,平均值为1.60 g/kg;总磷含量为0.372~0.712 g/kg,平均值为0.56 g/kg;速效氮含量为91.3~137.6 mg/kg,平均值为110.5 mg/kg;速效磷含量为9.11~14.19 mg/kg,平均值为11.42 mg/kg;速效钾含量为102.5~159.7 mg/kg,平均值为133.4 mg/kg;有机质含量为17.87~36.08 g/kg,平均值为26.64 g/kg。从基础数据看,11个水稻种植主体农田土壤基本理化性状指标值差异多达显著水平;从平均值看,对照农业行业标准,土壤肥力属中等偏上水平^[18]。与2020年度比较,除了速效钾含量以外,同一种植主体2021年度稻田土壤其他理化性状指标变化幅度不大。

表1 代表性水稻种植主体农田土壤基本理化性状

Table 1 Basic physical and chemical properties of farmland soil of representative rice planters

年度	品种	种植主体	总氮含量 (g/kg)	总磷含量 (g/kg)	速效氮含量 (mg/kg)	速效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)	有机质含量 (g/kg)
2020	南粳46	A1	1.71bc	0.549cd	112.0cd	9.11f	129.2c	22.86e
		A2	1.82b	0.587bc	126.3b	11.22e	140.3b	31.87b
		A3	2.04a	0.649a	134.6a	14.19a	151.3a	35.53a
		A4	1.73bc	0.606b	118.9bc	11.44de	141.9ab	32.53b
	南粳3908	B1	1.60cd	0.492e	111.2cd	13.08abc	127.4c	27.96c
		B2	1.19g	0.562cd	96.5f	11.22e	111.7d	20.86g
	南粳5055	C1	1.48de	0.446f	108.0de	11.73de	128.6c	24.75d
		C2	1.39ef	0.540d	102.2ef	12.71bcd	117.0d	22.24ef
		C3	1.26fg	0.570bcd	98.0f	11.87cde	115.9d	17.87h
	南粳9108	D1	1.29fg	0.578bcd	99.0f	13.58ab	116.9d	21.32fg
		D2	2.11a	0.683a	137.6a	11.06e	142.6ab	35.97a
2021	南粳46	A1	1.73c	0.502f	109.6bc	9.75cd	142.5c	23.60de
		A2	1.81b	0.527e	116.2b	11.07bc	111.4de	31.67b
		A3	2.03a	0.641bc	129.6a	11.17bc	149.5bc	35.33a
		A4	1.77bc	0.611c	110.4bc	10.70bcd	159.7b	31.43b

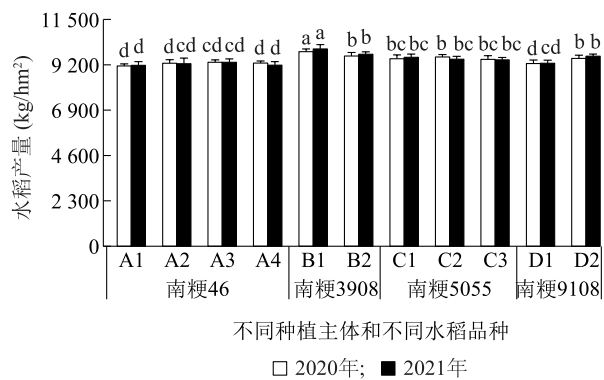
续表 1 Continued 1

年度	品种	种植主体	总氮含量 (g/kg)	总磷含量 (g/kg)	速效氮含量 (mg/kg)	速效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)	有机质含量 (g/kg)
	南粳 3908	B1	1.61d	0.499fg	105.0cd	11.75ab	102.5e	27.57c
		B2	1.18h	0.561d	91.3f	11.65ab	120.4d	20.79f
	南粳 5055	C1	1.47e	0.372h	103.4cd	11.57ab	120.4d	24.57d
		C2	1.37f	0.571d	100.6de	10.22bcd	172.4a	22.33ef
		C3	1.26g	0.479g	93.1f	9.79cd	144.7c	18.06g
	南粳 9108	D1	1.28g	0.674b	94.9ef	9.51d	146.5c	21.02f
		D2	2.12a	0.712a	133.1a	12.81a	141.8c	36.08a

同一列数据同年比较,不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。

2.2 不同水稻种植主体的水稻产量

由图 1 可知,11 个种植主体,2020 年和 2021 年水稻平均产量分别为 9 448.0 kg/hm² 和 9 465.9 kg/hm²;从不同种植主体看,A1 平均产量为 9 161.0 kg/hm²,为最低;B1 平均产量达 9 936.5 kg/hm²,为最高;极差为 775.5 kg/hm²,B1 平均产量比 A1 高 8.47%,处理间差异达到显著水平;2 个试验年度,不同水稻品种平均产量从小到大顺序为南粳 46、南粳 9108、南粳 5055、南粳 3908,依次为 9 248.1 kg/hm²、9 429.3 kg/hm²、9 516.7 kg/hm²、9 812.8 kg/hm²,处理间的差异多达到显著水平。结合表 1 数据,就同一水稻品种而言,土壤有机质含量和养分含量较高的种植主体,水稻产量也相对较高。



同年不同品种的数据比较,不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。

图 1 不同水稻种植主体稻谷产量

Fig.1 Grain yield of different rice planters

2.3 稻米品质指标

2.3.1 稻米加工品质 由表 2 数据可以计算出,11 个种植主体,2020 年和 2021 年稻谷平均糙米率分别为 83.7% 和 83.5%;2 个试验年度,不同水稻品种平均糙米率从小到大顺序为南粳 9108、南粳 5055、

南粳 3908、南粳 46,依次为 82.0%、83.1%、84.1%、84.5%,2020 年品种间的差异多达显著水平(表 2)。11 个种植主体,2020 年和 2021 年稻谷平均精米率分别为 73.2% 和 72.3%;2 个试验年度,不同水稻品种平均精米率从小到大顺序为南粳 9108、南粳 5055、南粳 3908、南粳 46,依次为 70.9%、71.9%、73.5%、73.9%,品种间的差异多达显著水平。11 个种植主体,2020 年和 2021 年稻谷平均整精米率分别为 68.5% 和 68.7%;2 个试验年度,不同水稻品种平均整精米率从小到大顺序为南粳 9108、南粳 5055、南粳 3908、南粳 46,依次为 66.0%、68.8%、69.2%、69.5%,品种间的差异多达显著水平。除南粳 9108 外,不同品种稻谷整精米率均达到优质稻谷国家二级标准^[19]。

综上所述,南粳 46 的加工品质相对最好,南粳 3908 次之。2 个试验年度间稻米的加工品质差异不明显。

2.3.2 稻米外观粒型品质 由表 3 可以计算得出,11 个种植主体,2020 年整精米平均粒长和粒宽明显大于 2021 年,但 2021 年整精米长/宽值较大。2 个试验年度,不同水稻品种整精米平均粒长和粒宽均是南粳 3908 最大,其长/宽值适中。2020 年与 2021 年,稻米平均垩白度分别为 6.04% 和 6.43%,稻米平均垩白粒率分别为 16.31% 和 17.56%。2 个试验年度,不同水稻品种稻米平均垩白度和平均垩白粒率均以南粳 3908 最低,分别为 5.52% 和 16.35%;以南粳 9108 最高,分别为 6.56% 和 17.57%。品种间的差异多达显著水平。

说明,南粳 3908 稻米粒型相对较大,且垩白度与垩白粒率最低,外观粒型品质较好,南粳 46 次之。2020 年稻米的外观粒型品质稍优于 2021 年。

表 2 不同水稻种植主体稻米加工品质

Table 2 Rice processing quality of different rice planters

年度	品种	种植主体	糙米率 (%)	精米率 (%)	整精米率 (%)
2020	南粳 46	A1	85.1a	74.3b	69.0bc
		A2	85.3a	74.7b	69.5ab
		A3	85.6a	75.6a	70.5a
		A4	85.3a	74.6b	69.7ab
	南粳 3908	B1	84.9a	73.8bc	68.7bcd
		B2	83.8b	72.9cd	67.8cd
	南粳 5055	C1	83.1bc	73.1cd	69.9ab
		C2	82.6cd	72.3d	68.8bcd
		C3	81.9d	71.2e	68.1cd
	南粳 9108	D1	80.4e	70.2f	64.0e
		D2	82.5cd	72.6d	67.7d
2021	南粳 46	A1	83.8a	73.4abc	68.2cd
		A2	82.9a	71.4cde	68.9abc
		A3	83.9a	72.2cd	69.8ab
		A4	84.1a	75.0a	70.2ab
	南粳 3908	B1	84.0a	74.1ab	70.5a
		B2	83.8a	73.1bcd	69.6ab
	南粳 5055	C1	84.0a	71.8cd	69.7ab
		C2	83.5a	71.7cd	68.6bc
		C3	83.5a	71.4cde	67.8d
	南粳 9108	D1	81.3b	69.7e	64.4e
		D2	83.6a	71.2de	67.8d

同一列数据同年比较,不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。

表 3 不同水稻种植主体稻米外观粒型品质

Table 3 Rice appearance grain type quality of different rice planters

年度	品种	种植主体	粒长 (mm)	粒宽 (mm)	长宽比	垩白度 (%)	垩白粒率 (%)
2020	南粳 46	A1	4.90b	2.88bc	1.70b	6.53a	16.66cd
		A2	4.90b	2.88bc	1.70b	6.44ab	16.06cde
		A3	4.90b	2.88bc	1.70b	6.16b	15.49ef
		A4	4.86bc	2.88bc	1.69b	6.38ab	15.98de
	南粳 3908	B1	5.00a	2.94a	1.70b	5.39d	14.84f
		B2	4.90b	2.89b	1.69b	5.67cd	15.71e
	南粳 5055	C1	4.80de	2.82de	1.70b	5.55cd	15.92de
		C2	4.80de	2.81ef	1.71b	5.70cd	16.80bc
		C3	4.76e	2.78f	1.72ab	5.85c	17.49b
	南粳 9108	D1	4.83cd	2.84cde	1.70b	6.53a	18.29a
		D2	4.96a	2.86bcd	1.74a	6.26ab	16.14cde
2021	南粳 46	A1	4.64ab	2.64b	1.75ab	6.25bc	18.74ab
		A2	4.66ab	2.63b	1.77a	6.04cd	17.97ab
		A3	4.65ab	2.64b	1.76a	5.90cd	16.95b
		A4	4.69a	2.66ab	1.76a	6.18bc	17.26b
	南粳 3908	B1	4.66ab	2.70a	1.72bc	5.31d	16.76bc
		B2	4.61b	2.65b	1.74ab	5.69cd	18.09ab
	南粳 5055	C1	4.48cd	2.68ab	1.67d	6.89ab	16.55bc
		C2	4.52c	2.65b	1.70cd	7.39a	17.11b

续表 3 Continued 3

年度	品种	种植主体	粒长(mm)	粒宽(mm)	长宽比	垩白度(%)	垩白粒率(%)
		C3	4.49cd	2.64b	1.70cd	7.65a	17.89ab
	南粳 9108	D1	4.47cd	2.54c	1.76a	7.19a	19.59a
		D2	4.46d	2.55c	1.75ab	6.27bc	16.24c

同一列数据同年比较,不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。

2.3.3 稻米蒸煮食味与营养品质 由表 4 可以计算得出,11 个种植主体,2020 年和 2021 年稻米平均蛋白质含量分别为 9.14%和 8.78%;2 个试验年度,不同水稻品种稻米平均蛋白质含量从小到大顺序为南粳 46、南粳 5055、南粳 3908、南粳 9108,依次为 8.54%、8.97%、9.00%、9.76%,品种间的差异多达显著水平(表 4);不同种植主体间稻米蛋白质含量差异多达显著水平。11 个种植主体,2020 年和 2021 年稻米平均胶稠度分别为 81.1 mm 和 80.6 mm;2 个试验年度,不同水稻品种稻米平均胶稠度从小到大顺序为南粳 9108、南粳 3908、南粳 5055、南粳 46,依次为 78.0 mm、79.4 mm、81.0 mm、83.0

mm,品种间的差异多达显著水平;不同种植主体间稻米胶稠度差异多达显著水平。11 个种植主体,2020 年和 2021 年稻米平均直链淀粉含量分别为 10.10%和 9.99%;2 个试验年度,不同水稻品种稻米干基平均直链淀粉含量从小到大顺序为南粳 46、南粳 3908、南粳 5055、南粳 9108,依次为 9.67%、9.96%、10.11%、10.81%,不同品种间差异多达到显著水平;稻米直链淀粉含量在不同种植主体间也存在显著差异。

说明,南粳 46 的蛋白质和直链淀粉含量较低、胶稠度较大,稻米蒸煮食味与营养品质较好,南粳 3908 次之。

表 4 不同水稻种植主体稻米蒸煮食味与营养品质

Table 4 Rice cooking taste and nutritional quality of different rice planters

年度	品种	种植主体	蛋白质含量(%)	胶稠度(mm)	直链淀粉含量(干基,%)
2020	南粳 46	A1	9.43c	82.3abc	9.80d
		A2	8.87de	83.0ab	9.57d
		A3	8.16f	83.7a	9.43d
		A4	8.69e	82.7ab	9.60d
	南粳 3908	B1	8.81e	81.0bcd	10.20c
		B2	9.32c	80.0cd	9.67d
	南粳 5055	C1	8.83e	82.0abc	9.80d
		C2	8.91de	80.0cd	10.60b
		C3	9.16cd	79.0de	10.37bc
	南粳 9108	D1	9.92b	78.0e	10.30bc
		D2	10.49a	80.7bcd	11.80a
2021	南粳 46	A1	8.77bc	81.9ab	9.64c
		A2	8.14de	83.1ab	9.99bc
		A3	8.07e	83.9a	9.54c
		A4	8.17cde	83.5a	9.79bc
	南粳 3908	B1	8.75bc	79.0cd	10.12abc
		B2	9.14ab	77.4d	9.85bc
	南粳 5055	C1	8.69bc	82.0ab	9.85bc
		C2	9.04ab	81.7ab	10.13abc
		C3	9.16ab	81.0bc	9.89bc
	南粳 9108	D1	9.53a	75.3e	10.37ab
		D2	9.10ab	78.0d	10.76a

同一列数据同年比较,不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。

2.3.4 RVA 谱特征值 由表 5 可知,11 个种植主体中,2020 年和 2021 年稻米峰值黏度、热浆黏度和最终黏度均以种植南粳 46 的 A3 种植主体最高,并显著大于其他 10 个种植主体。两季水稻,稻米的崩解值也以 A3 种植主体较高,但不同种植主体间的差异多不显著。不同水稻品种稻米的消减值均为负值,以南粳 9108 最小,南粳 3908 最大,不同种植主体间的稻米消减值总体差异不显著。两季稻米的平均回复值,南粳 46、南粳 5055 和南粳 3908 基本接近,而南粳 9108 的回复值相对较小,不同种植主体间的稻米回复值差异显著。峰值时间是指米粉样品达到峰值黏度的时间,值越小说明稻米淀粉粒的膨胀性越好。两季稻米,南粳 3908、南粳 46 和南粳 5055 的稻米平均峰值时间较小,南粳 9108 的平均峰值时间较大。不同水稻品种稻米平均糊化温度从

小到大顺序为南粳 46、南粳 3908、南粳 5055、南粳 9108。

总体来看,南粳 46 稻米 RVA 谱特征值相对较优,南粳 3908 次之。

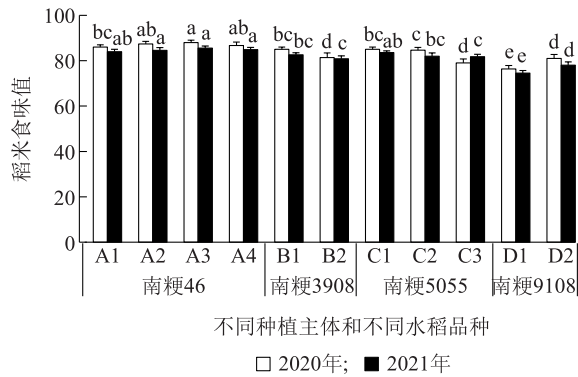
2.3.5 稻米综合食味值 由图 2 的数据可以计算得出,11 个种植主体,2020 年和 2021 年稻米平均食味值分别为 83.7 和 82.0;从不同种植主体看,D1 平均食味值最低,为 75.5, A3 平均食味值最高,达 86.8,极差为 11.3,处理间差异达到显著水平;2 个试验年度,不同水稻品种平均食味值从小到大顺序为南粳 9108、南粳 3908、南粳 5055、南粳 46,依次为 77.5、82.4、82.7、85.9,处理间的差异多达到显著水平。结合表 1 数据,就同一水稻品种而言,土壤有机质含量和养分含量较高的种植主体,稻米食味值总体相对较高。

表 5 不同水稻种植主体稻米快速黏度分析仪(RVA)谱特征值

Table 5 Rice spectrum eigenvalue by rapid viscosity analyzer (RVA) starch profile of different rice planters

年度	品种	种植主体	峰值黏度 (cP)	热浆黏度 (cP)	最终黏度 (cP)	崩解值 (cP)	消减值 (cP)	回复值 (cP)	峰值时间 (min)	糊化温度 (℃)
2020	南粳 46	A1	2 645.2efg	1 685.4bc	2 086.0c	959.8d	-559.2ab	400.6de	7.04ab	74.0d
		A2	2 791.9bc	1 712.4b	2 195.8b	1 079.5ab	-596.1ab	483.4abc	7.01ab	73.4d
		A3	2 879.7a	1 759.5a	2 268.9a	1 120.1a	-610.8abc	509.4a	7.02ab	72.1d
		A4	2 798.3b	1 713.0b	2 152.0b	1 085.3ab	-646.3bc	439.0bc	6.96ab	73.2d
	南粳 3908	B1	2 727.9d	1 703.5b	2 195.5b	1 024.4bcd	-532.4a	492.0ab	6.82b	76.4cd
		B2	2 634.4efg	1 639.2de	2 016.1d	995.1cd	-618.3abc	376.8ef	6.83b	80.0b
	南粳 5055	C1	2 737.7cd	1 663.6cd	2 181.9b	1 074.1abc	-555.9ab	518.3a	6.73b	77.8c
		C2	2 665.0ef	1 604.3ef	2 085.0c	1 060.7abc	-580.0ab	480.7abc	6.86b	79.6b
		C3	2 614.6fg	1 578.5f	2 005.9d	1 036.1abc	-608.7abc	427.4cd	6.87b	82.2ab
	南粳 9108	D1	2 597.3g	1 492.1g	1 822.7e	1 105.2ab	-774.6d	330.6f	7.25a	84.2a
		D2	2 692.9de	1 607.0ef	1 997.4d	1 085.9ab	-695.4cd	390.4de	6.73b	82.6ab
2021	南粳 46	A1	2 769.7e	1 503.7c	1 921.3c	1 266.0b	-848.3ab	417.7bc	6.43a	74.8bc
		A2	2 944.7bc	1 588.0b	2 058.7b	1 356.7ab	-886.0ab	470.7abc	6.27ab	73.2de
		A3	3 077.7a	1 678.7a	2 174.7a	1 399.0ab	-903.0ab	496.0ab	5.67d	73.0e
		A4	2 937.0bc	1 580.0b	2 054.3b	1 357.0ab	-882.7ab	474.3ab	6.12bc	73.4de
	南粳 3908	B1	2 907.0bc	1 622.0b	2 082.0b	1 285.0ab	-825.0a	460.0abc	5.91c	74.1bc
		B2	2 805.7de	1 422.3d	1 946.0c	1 383.3ab	-859.7ab	523.7a	6.19bc	75.1b
	南粳 5055	C1	2 988.0ab	1 599.3b	2 065.0b	1 388.7ab	-923.0ab	465.7abc	5.98c	73.8cd
		C2	2 938.0bc	1 521.3c	1 971.3c	1 416.7a	-966.7b	450.0abc	6.18bc	74.4bc
		C3	2 866.7cd	1 498.7c	1 929.3c	1 368.0ab	-937.3ab	430.7bc	6.32ab	75.0bc
	南粳 9108	D1	2 766.0e	1 481.0c	1 868.3d	1 285.0ab	-897.7ab	387.3c	6.54a	76.9a
		D2	2 889.3bc	1 516.0c	1 954.7c	1 373.3ab	-934.7ab	438.7bc	6.27ab	75.4b

同一列数据同年比较,不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。



同年不同品种间比较,不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。

图2 不同水稻种植主体稻米综合食味值

Fig.2 Comprehensive grain taste value of different rice planters

表6 稻米主要品质指标与土壤理化性状的相关系数

Table 6 Correlation coefficients between main quality indexes of rice and soil physical and chemical properties

指标	总氮含量 (TN)	总磷含量 (TP)	速效氮含量 (AN)	速效磷含量 (AP)	速效钾含量 (AK)	有机质含量 (OM)
整精米率 (HMR)	0.341 **	-0.262 *	0.281 *	0.075	0.054	0.392 **
蛋白质含量 (PC)	-0.247 *	0.181	-0.161	-0.155	-0.110	-0.318 **
胶稠度 (GC)	0.453 **	-0.163	0.4464 **	-0.067	0.294 *	0.419 **
峰值黏度 (PV)	0.372 **	-0.020	0.249 *	-0.091	0.342 **	0.445 **
热浆黏度 (TV)	0.447 **	-0.023	0.532 **	0.231	0.002	0.490 **
崩解值 (BDV)	0.058	-0.003	-0.092	-0.206	0.282 *	0.094
消减值 (SBV)	0.003	-0.062	0.145	0.289 *	-0.258 *	0.001
稻米食味值 (RTV)	0.416 **	-0.258 *	0.427 **	0.021	0.139	0.401 **

* 和 ** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平显著相关。

3 讨论

3.1 水稻生长发育及产量形成与稻田土壤肥力的关系

土壤肥力分自然肥力(内因)和人为肥力(外因)。前者由成土过程中地形、生物、气候、时间等因素的协同作用决定;人为肥力则是人类进行农业生产活动行为方式的总和^[20]。对于同一区域不同水稻田块,土壤肥力的差异可能主要由不同农户长期施肥、耕作、灌溉等管理方式的不同引起^[21]。稻田土壤肥力是水稻获得高产稳产的前提条件,对不同肥力水平的稻田,为了提高水稻产量,需要采取不同的肥料运筹方式。范立慧等^[22]的研究结果表明,对肥力水平较高的土壤,适当减少总氮投入量,均衡运筹基肥和蘖肥,能够保证水稻产量,并提高氮肥吸收利用效率;对肥力水平较低的土壤,稻季应适当增

2.4 稻米主要品质指标与土壤理化性状间的相关性

为了明确稻米主要品质指标与产地土壤理化性状指标的相关关系,对 2 组主要指标采用统计软件进行了相关性分析。由表 6 可知,稻米 HMR、GC、PV、TV、RTV 与土壤 TN、AN、OM 呈显著或极显著正相关;稻米 PC 则与土壤 TN 和 OM 呈显著或极显著负相关。稻米 HMR 和 RTV 与土壤 TP 均呈显著负相关;而稻米 SBV 与土壤 AP 则呈显著正相关。稻米 GC、PV、BDV 与土壤 AK 均呈显著或极显著正相关;但稻米 SBV 与 AK 呈显著负相关。

加总施氮量,并提高基肥氮的投入量,促进水稻分蘖的早发快发,保证水稻穗数,提高水稻产量。王秋菊等^[23]在高肥力土壤上的研究表明,与常规施肥相比较,秸秆还田条件下连续 3 年减少 10% 的施氮量,可以保持地力,并维持水稻高产稳产;对中、低肥力水平的土壤,秸秆还田条件下采用常规施肥水平或适当增施氮肥能够提高水稻产量,但连续增氮使水稻增产幅度递减,说明秸秆连续还田几年后需要控制稻田氮肥投入量,维持土壤氮素平衡,提高氮肥利用效率。本研究结果表明,水稻产量的高低主要由品种自身的产量潜力决定,南粳 3908 作为超级稻品种,其产量相对较高;就同一水稻品种而言,稻田土壤有机质含量及养分含量较高的土壤,其土壤肥力水平总体较高^[24],获得的水稻产量也相对较高,这与前人的研究结果基本一致。说明水稻产量潜力与土壤肥力水平关系密切,高肥力土壤上种植的水

稻更容易高产稳产^[25]。因此在实际生产中,可以通过实施秸秆还田、配施有机肥、种植绿肥还田等方式培肥地力,促进水稻的高产稳产。

3.2 稻米品质与稻田土壤肥力的关系

水稻品种自身的遗传特性对稻米品质起主导作用^[26-28]。此外,栽培措施、气候条件,以及土壤肥力等因素对稻米品质也能产生重要影响^[29-33]。本研究结果表明,稻米蛋白质含量与土壤总氮含量呈负相关关系,可能是因为土壤肥力好,总氮含量高,水稻往往前期生长发育较好,有利于分蘖早发快发,形成高质量群体^[34],这为实际生产中稻季减施氮肥提供了条件,特别是穗肥减氮能直接降低稻米中的蛋白质含量^[35],而稻米中的蛋白质含量降低,有利于提高稻米的食味值^[36],因此,稻米食味值与土壤总氮含量呈显著的正相关关系。前人通过对连续多年种植紫云英还田培肥土壤的研究结果也表明,稻季比对照减少 20% 的化肥施用量,仍能够保证水稻产量,并提升稻米品质^[37]。本研究结果还表明,稻米食味值与土壤有机质含量表现为显著正相关,可能是因为有机质含量较高的土壤,其氮、磷等元素含量也较高,生产中一般可以减少施用化肥,这往往有利于提高稻米食味值。王飞等^[38]的研究结果表明,相较于单施化肥,长期施用牛粪有机肥+化肥处理能够明显提高稻田土壤有机质含量,同时提升稻米的品质性状,这与本研究结果基本一致。但本研究中化学氮肥、磷肥、钾肥施用量要明显大于前人研究结果中的化肥施用量^[38],可能与本研究供试水稻品种为粳稻,而前人的试验用水稻品种是籼稻,两者的养分需求规律不同有关。此外,本研究结果表明,稻米食味值与土壤总磷含量呈显著的负相关关系,表明水稻季要少施或不施磷肥,以避免土壤中磷素的大量盈余,影响稻米品质。这可能与本地区土壤含磷量总体偏高有关^[39]。而本研究江苏苏南地区在实际水稻生产中,农民往往也仅将少量的磷肥作为基肥施用。因此,在种植水稻的过程中,我们要通过有机培肥,提高土壤肥力,以利于提升稻米品质,但也要注意控制好稻季磷肥的投入量。

4 结 论

对于同一地区的不同经营主体,土壤肥力高低不同,除了因成土母质不同外,还与不同经营主体对秸秆还田、种植绿肥还田、施用有机肥和农家肥等土

壤有机培肥的重视程度不同有关。在本研究中,就同一水稻品种而言,土壤有机质含量高的经营主体,其水稻产量相对较高,稻米品质也相对较优。说明,通过有机质培肥,提高了土壤肥力水平,能够保证水稻种植的高产稳产和优质,对实施国家藏粮于地和藏粮于技战略具有重要意义。此外,虽然肥力水平较高的土壤,在减少氮肥施用量的同时,能够协调好水稻的优质与高产;但长此以往,其是否能够一直保持较高的地力水平,以及后续应当采用怎样的土壤培肥措施,以保证地力的长期稳定,值得设计长期定位试验,开展进一步深入研究。

参考文献:

- [1] 殷 敏,刘少文,褚 光,等.长江下游稻区不同类型双季晚粳稻产量与生育特性差异[J].中国农业科学,2020,53(5): 890-903.
- [2] 李 杰,杨洪建,邓建平.稻作科技进步对江苏省水稻单产提升的分析[J].中国稻米,2013,19(2): 27-30.
- [3] 方福平,程式华.水稻科技与产业发展[J].农学报,2018,8(1): 92-98.
- [4] 姚 妹,陈 涛,张亚东,等.利用分子标记辅助选择聚合水稻 *Pi-ta*、*Pi-b* 和 *Wx-mq* 基因[J].作物学报,2017,43(11): 1622-1631.
- [5] 吴玉红,王 吕,崔月贞,等.轮作模式及秸秆还田对水稻产量、稻米品质及土壤肥力的影响[J].植物营养与肥料学报,2021,27(11): 1926-1937.
- [6] DORAN J W, SAFLEY M. Defining and assessing soil healthy and sustainable productivity [M]. New York: CAB International, 1997.
- [7] 高 威,陶晓婷,王远玲,等.养猪场养殖废水与化肥配施对小麦中微量元素含量和品质的影响[J].应用生态学报,2014,25(2): 433-440.
- [8] EDMANDES D C. The long-term effects of manures and fertilizers on soil productivity and quality: a review [J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2003, 66: 165-180.
- [9] 魏晓东,张亚东,宋雪梅,等.硅镁锌肥改善稻米品质的研究进展[J].江苏农业学报,2021,37(3): 783-788.
- [10] WANG Y W, ZHANG B B, JIANG D E, et al. Silicon improves photosynthetic performance by optimizing thylakoid membrane protein components in rice under drought stress [J]. Environmental and Experimental Botany, 2019(158): 117-124.
- [11] 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.
- [12] 李文博,刘少君,叶新新,等.不同稻田综合种养模式下水稻产量形成特点及其稻米品质 and 经济效益差异[J].作物学报,2021,47(10): 1953-1965.
- [13] 徐红星,郑许松,田俊策,等.我国水稻害虫绿色防控技术的研

- 究进展与应用现状[J].植物保护学报,2017,44(6): 925-939.
- [14] 马晓慧,车喜庆,王井士,等.稻蟹共作与常规稻田蜘蛛群落组成及多样性分析[J].中国生态农业学报(中文版),2019,27(8): 1157-1162.
- [15] 高东.稻田生物多样性构建的生态效应[J].生态环境学报,2010,19(8): 1999-2003.
- [16] 彭卫福,吕伟生,黄山,等.土壤肥力对红壤性水稻土水稻产量和氮肥利用效率的影响[J].中国农业科学,2018,51(18): 3614-3624.
- [17] 李洪亮,孙玉友,曲金玲,等.土壤类型对东北粳稻光合物质生产特征及稻米品质的影响[J].中国水稻科学,2013,27(3): 287-296.
- [18] 中华人民共和国农业部种植业管理司.农业行业标准—南方地区耕地土壤肥力诊断与评价:NY/T 1749-2009[S].北京:中国标准出版社,2009.
- [19] 唐瑞明,龙伶俐,朱之光,等.国家标准—优质稻谷:GB/T 17891-2017[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [20] 孙波,张桃林,赵其国.我国东南丘陵山区土壤肥力的综合评价[J].土壤学报,1995,32(4): 362-369.
- [21] 刘淑军,李冬初,高菊生,等.长期施肥红壤稻田肥力与产量的相关性及其验证[J].植物营养与肥料学报,2020,26(7): 1262-1272.
- [22] 范立慧,徐珊珊,侯朋福,等.不同地力下基肥运筹比例对水稻产量及氮肥吸收利用的影响[J].中国农业科学,2016,49(10): 1872-1884.
- [23] 王秋菊,刘峰,迟凤琴,等.秸秆还田及氮肥调控对不同肥力白浆土氮素及水稻产量影响[J].农业工程学报,2019,35(14): 105-111.
- [24] 宓文海,吴良欢,马庆旭,等.有机物料与化肥配施提高黄泥田水稻产量和土壤肥力[J].农业工程学报,2016,32(13): 103-108.
- [25] 高菊生,徐明岗,董春华,等.长期稻-稻-绿肥轮作对水稻产量及土壤肥力的影响[J].作物学报,2013,39(2): 343-349.
- [26] 张宏根,张昌泉,许作鹏,等.优质外观优良食味早熟晚粳稻新品种广陵优粳的选育[J].江苏农业科学,2022,50(9): 66-69.
- [27] 谢裕林,于雅洁,董明辉,等.茎鞘非结构性碳水化合物积累运转与稻米品质对播期和行距配置的响应[J].江苏农业科学,2022,50(8): 93-100.
- [28] 李旭,付立东,王宇,等.利用稻米淀粉特性进行食味品质辅助选择[J].江苏农业科学,2022,50(7): 178-183.
- [29] 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: 132-136.
- [30] 宋维民,王丽艳,郭永霞,等.秸秆还田条件下固氮蓝藻复合菌剂与促生细菌 SM13 对水稻产量及稻米品质的影响[J].南方农业学报,2021,52(3): 762-768.
- [31] 蒋明金,徐文波,王荣基,等.减氮对机插杂交籼稻产量和稻米品质的影响[J].南方农业学报,2022,53(1): 104-114.
- [32] 徐珂珂,李新月,鲁焕,等.干旱胁迫下杂草稻和栽培稻种子萌发及幼苗根的部分生长和生理生化指标的比较[J].植物资源与环境学报,2022,31(1): 86-88.
- [33] 秦猛,刘丽华,康楷,等.不同除草剂对寒地水稻穗部性状及产量和品质的影响[J].南方农业学报,2021,52(1): 115-122.
- [34] 严奉君,孙永健,马均,等.不同土壤肥力条件下麦秆还田与氮肥运筹对杂交稻氮素利用、产量及米质的影响[J].中国水稻科学,2015,29(1): 56-64.
- [35] 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.
- [36] 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.
- [37] 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.
- [38] 王飞,林诚,李清华,等.长期不同施肥对南方黄泥田水稻籽粒品质性状与土壤肥力因子的影响[J].植物营养与肥料学报,2011,17(2): 283-290.
- [39] 赵建宁,沈其荣,冉炜.太湖地区侧渗水稻土连续施磷处理下稻田磷的径流损失[J].农村生态环境,2005,21(3): 29-33.

(责任编辑:陈海霞)