

施用有机肥和秸秆还田对东北苏打盐碱地水稻营养与食味品质的影响

李冠男^{1,2} 黄立华² 张璐² 陈嘉兴^{1,2} 杨靖民¹

(¹ 吉林农业大学资源与环境学院, 130118, 吉林长春; ² 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 130102, 吉林长春)

摘要 采用田间长期定位施肥试验和实验室分析的方法, 研究了苏打盐碱地稻田不同施肥措施对稻谷品质的影响。试验采用了不施肥对照 (CK)、氮磷钾肥配施 (NPK)、单施有机肥 (M)、有机肥与氮磷钾肥配施 (MNPK) 和秸秆还田与氮磷钾肥配施 (RNPK) 共 5 种不同施肥处理。结果表明, 4 种施肥处理均较 CK 提高稻谷糙米率、精米率和整精米率, 一定程度改善了加工品质; NPK 与 M 处理提高了稻米外观品质, MNPK 与 RNPK 处理使稻米外观品质有所降低; 氮磷钾肥配施可以提高稻米蛋白质含量、含水量和稻米食味性。综合来看, 盐碱地稻田短期内无法通过有机培肥来实现稻米品质提升, 化肥合理配施应是盐碱地种稻初期阶段的重要培肥措施, 盐碱地有机培肥和稻米品质提升是一个长期过程, 有待进一步深入研究。

关键词 苏打盐碱地; 水稻; 有机肥; 秸秆还田; 营养食味品质

水稻是重要的粮食作物之一, 全球 50% 以上的人口以稻米为主食^[1]。我国是世界上稻米生产和消费大国, 稻米在中国居民口粮中所占比例大约为 60%, 是我国最主要的口粮作物之一^[2]。随着社会经济迅猛发展和人们生活水平的日益提高, 消费者对于稻米的需求也由数量转为质量, 愈加注重稻米的口感、营养及品质^[3], 不断提高稻米品质特别是食味品质已成为稻米产业首要解决的问题^[4]。

盐碱地是重要的农业资源^[5], 垦殖种稻及选育耐盐碱优良品种是生物改良和农业利用盐碱地资源的重要途径^[6-7]。随着我国盐碱地种稻规模的日益扩大, 不断强化田间水肥等农艺管理, 是保障盐碱地水稻产量和品质逐步提高的重要措施。大量研究表明, 施肥对盐碱地水稻增产效果显著^[8], 也一定程度影响到稻米的品质^[9-11]。稻米品质既受自身遗传因素、气候和环境因素等影响, 也与田间水肥管理等农艺措施密切相关。如随着氮肥用量增加, 稻米胶稠度变短, 直链淀粉含量变低, 垩白粒率与垩白度减少^[12]。钾肥施用直接或间接促进了蛋白质的合成, 有效降低了稻米的垩白度及垩白粒率^[13]。

盐碱地稻田由于盐碱障碍的长期存在, 土壤

主要养分贫瘠, 稻谷产量通常较低^[6], 稻米品质和口感也普遍较差。盐碱地种稻不仅需要改良土壤减盐降碱, 而且需要重视肥沃地力的培育, 注意加强田间水肥管理^[14], 同时应注意氮磷肥的科学配施, 要根据土壤特点和水稻生长发育规律进行合理施肥^[15]。有研究指出, 秸秆还田配施腐熟剂对盐碱地稻米加工品质有明显提高^[16]。为了揭示有机培肥和秸秆还田对盐碱地稻米品质的影响, 利用盐碱地水稻长期定位施肥试验, 全面分析有机肥和化肥单独施用, 以及有机肥、秸秆还田配施化肥对水稻稻米品质的影响, 旨在为盐碱地水稻优质高产栽培提供科学指导。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地点位于中国科学院大安碱地生态试验站 (N45° 35' 58" ~45° 36' 28", E123° 50' 27" ~123° 51' 31") 站内, 气候类型为温带大陆性季风气候, 有效生育期 130~140d, 作物为单季种植, 冬季休闲。长期定位施肥试验始于 2010 年, 土壤类型为中度草甸盐碱土, 已连续种植水稻 8 年。

1.2 供试材料

长期定位试验前耕层土壤 (0~20cm) 基本理化特性为, 土壤 pH_(土:水=1:5) 8.86, 电导率 EC_(土:水=1:5) 436.5μS/cm, 有机质含量 8.26g/kg, 碱解氮含量 76.8mg/kg, 速效磷含量 21.6mg/kg, 速效钾含量 210.7mg/kg。

作者简介: 李冠男, 硕士研究生, 研究方向为肥料与平衡施肥

黄立华为通信作者, 高级工程师, 主要从事植物逆境营养与土壤生态研究; 杨靖民为共同通信作者, 教授, 主要从事植物营养研究

基金项目: 长春市科技计划地院 (校、所) 合作专项项目 (17DY009); 国家重点研发计划项目 (2016YFD02003003-2); 吉林省科技发展计划项目 (20190303090SF)

收稿日期: 2019-04-04; 修回日期: 2019-08-02

供试水稻品种为东稻 4 号,由中国科学院东北地理与农业生态研究所于 2010 年选育并通过吉林省审定,具有耐盐碱、抗倒伏和抗稻瘟病等特点,是一个综合性状优良的超高产水稻抗逆新品种。

1.3 试验设计

从水稻长期定位施肥试验中选取了 5 个施肥处理,即不施肥对照处理(CK),氮磷钾配施处理(NPK),有机肥处理(M),有机肥配施氮磷钾肥处理(MNPK)和秸秆还田配施氮磷钾肥处理(RNPK)。肥料施用量为氮肥 200kg N/hm²,磷肥 100kg P₂O₅/hm²,钾肥 100kg K₂O/hm²,有机肥 30t/hm²,氮肥为尿素(含 N 46.2%),磷肥为普通过磷酸钙(含 P₂O₅ 16%),钾肥为硫酸钾(含 K₂O 50%)。有机肥为当地腐熟羊粪,基本养分情况:全氮含量约为 2.01%,全磷含量约为 0.49%,全钾含量约为 1.32%。M 和 MNPK 处理折合速效氮磷钾养分含量与 NPK 处理为等量施肥。RNPK 处理施氮磷钾肥量与 NPK 处理相同,秸秆全量还田,还田量为 10t/hm²。每个处理 4 次重复,随机区组排列,小区面积 20m²(5m×4m)。水稻于 2017 年 5 月 20 日插秧,行距 30cm,株距 15cm,每穴插秧 4~5 株,2017 年 9 月 25 日收获,正常田间管理。

1.4 取样方法

于水稻成熟期(2017 年 9 月 25 日)进行取样,采用 5 点取样法,每个处理小区内每点割取 2 穴水稻,将所取水稻稻穗全部剪下,放入网袋,贴好标签,悬挂于通风处晾干后贮存 3 个月,待稻米理化性质稳定之后,分别脱粒进行品质分析。

1.5 测定项目与方法

稻米加工品质:待稻米理化性质稳定之后,糙米率、精米率、整精米率参照中华人民共和国国家标准《GB/T 17891-1999 优质稻谷》^[17]测定。

稻米外观品质:利用大米外观品质检测仪 JMW12 进行垩白度、垩白粒率等指标的测定。

稻米营养食味品质:采用米饭食味分析仪(日本佐竹公司 Satake Corporation),将不低于 250g 的精米置于食味仪样品玻璃槽中,调控仪器选择粳米项进行测定,测定指标包括含水量、直链淀粉含量、蛋白质含量以及食味值。

稻米胶稠度:称取两份过 100 目筛的米粉样品(按含水量 12% 计,如含水量不为 12% 时,则进行折算,相应增加或减少试样的量),每份 100±1mg 于 13mm×100mm 试管中,加入 0.2mL 浓度为 0.025% 麝香草酚蓝乙醇溶液,以 MVS-1 型漩涡振荡器振荡,使米粉充分分散;再加 2.0mL 浓度

0.2mol/L KOH 溶液,再加以震荡,使米粉充分混合均匀。将试管放入 HH-6 型沸水浴锅中,用 d=15mm 玻璃球盖住试管口,在沸水浴中加热 8min。控制试管内米胶溶液液面在加热过程中保持在试管高度的 1/2~2/3,取出试管,取下玻璃球。静置 5min 后,立即将管置于约 0℃ 的冰水中 20min。将试管从冰水中取出,立即将其水平放置在仪表长度测量盒的样品架上。将管的底部与标记的起始线对齐,并使其在 25℃±5℃ 条件下静置 1h。测量试管中流动米胶的长度即胶稠度。

稻米矿质元素含量:将稻米在 70℃ 烘干,用植物粉碎机磨细过 1mm 筛,称取 1g 米粉置于 250mL 三角瓶内,加入 30mL 硝酸-高氯酸(5:1)混合酸,瓶口放置曲颈漏斗静置过夜。第 2 天,在通风橱内用沙浴锅控温在 100℃ 进行消煮。保持微沸状态,此时产生大量棕色 NO₂ 气体。当棕色气体消失,升高炉温使溶液沸腾至冒白烟为止。若溶液仍浑浊,可加入 5mL 硝酸继续消煮,直至溶液变清并冒白烟为止。冷却后,加入 20mL 超纯水,用定量滤纸过滤到 250mL 容量瓶内,用超纯水定容,摇匀,作为待测溶液。采用原子吸收分光光度计及火焰光度计对米粉中 Na、K、Ca、Mg 元素含量进行测定。

稻米 RVA 谱特征值:测定指标有最高黏度、热浆黏度、冷浆黏度、崩解值、消减值、回复值、峰值时间。主要步骤:将 Super3 型淀粉快速黏度分析仪(澳大利亚 Newport Scientific 仪器公司)开机预热 30min,称取 3.000g 过 100 目筛的样品米粉(米粉按含水量 14% 计,如含水量不为 14% 时,则进行折算,相应增加或减少试样的量),放置于定制的铝盒中,再向其加入 25mL 蒸馏水,将小铝盒固定在 RVA 快速黏度分析仪上进行测定。每个样品测定 3 次,最终结果取 3 次的平均值。计算公式:崩解值=峰值黏度-热浆黏度;消减值=冷浆黏度-峰值黏度;回复值=冷浆黏度-热浆黏度。

1.6 数据分析

分析数据采用 Microsoft Excel 进行整理,利用 DPS 7.05 统计软件的 Duncan 新复极差法进行处理间差异显著性分析以及不同品质指标间的相关性分析。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对稻米加工品质的影响

氮磷钾肥配施、单施有机肥、有机肥配施氮磷钾肥和秸秆还田配施氮磷钾肥均提高了稻米的加工

品质（表 1），MNPK 处理与 RNPK 处理对稻米加工品质影响相近，但比 NPK 处理略有降低。与对照（CK）相比，NPK 处理糙米率显著提高了 3.9 个百分点，其他施肥处理也提高了稻米的糙米率，但未达到显著水平。从表 1 可看出，与 CK 相比，各施肥处理精米率和整精米率有所提高，精米率提高了 0.7~2.3 个百分点，整精米率提高了 1.2~2.7 个百分点，其中 NPK 处理精米率和整精米率提高最多。有机肥单施或与氮磷钾肥配施以及秸秆还田与氮磷钾肥配施，分别在一定程度上提高了稻米的加工品质，但与不施肥处理相比没有显著差别。

表 1 不同处理对稻米加工品质的影响
Table 1 Effects of different treatments on the processing qualities of rice %

处理 Treatment	糙米率 Brown rice rate	精米率 Milled rice rate	整精米率 Head rice rate
CK	78.1b	67.6a	65.2a
NPK	82.0a	69.9a	67.9a
M	80.6ab	69.3a	67.9a
MNPK	79.7ab	68.8a	67.2a
RNPK	79.7ab	68.3a	66.4a

注：表中不同小写字母表示处理间在 0.05 水平上差异显著。下同
Note: Different lowercase letters indicate significant difference between treatments at the 0.05 level. The same below

2.2 不同施肥处理对稻米外观品质的影响

不同施肥处理对稻米垩白度、垩白粒率、粒型（长宽比）有较大作用效果，影响了稻米的外观品质。NPK 与 M 处理降低了稻米的垩白度与垩白粒率，MNPK 与 RNPK 处理并没有提高稻米的外观品质，4 种施肥处理均改善了稻米粒型（表 2）。与 CK 相比，M 与 NPK 处理，改善了稻米的垩白度与垩白粒率、长宽比，其中 NPK 处理垩白度下降了 23.7%，垩白粒率下降了 18.5%，长宽比提高 0.1 个百分点。MNPK 与 RNPK 处理与对照相比外观品质明显下降，垩白度显著高于 NPK 处理，垩白粒率显著高于其他 3 个处理。在盐碱土上，M 与 MNPK 处理相比，稻米粒型差异不显著，M 处理的稻米垩

表 2 不同处理对稻米外观品质的影响
Table 2 Effects of different treatments on the appearance qualities of rice

处理 Treatment	垩白度 (%) Chalkiness degree	垩白粒率 (%) Chalky grain rate	长宽比 Length/Width
CK	5.9ab	15.1b	1.60b
NPK	4.5b	12.3b	1.70a
M	4.9ab	12.4b	1.63b
MNPK	6.3a	20.4a	1.65ab
RNPK	6.1a	19.9a	1.70a

白度和垩白粒率分别降低了 22.2% 和 39.2%，明显提高了稻米外观品质。

2.3 不同施肥处理对稻米蒸煮品质的影响

从分析结果来看，不同施肥处理对稻米蒸煮食味品质有一定作用效果，NPK、MNPK 和 RNPK 处理提高了稻米的蒸煮品质，M 处理没有明显改善水稻蒸煮品质（表 3）。5 种处理直链淀粉含量在 15.1%~19.3%，与 CK 相比，RNPK 与 NPK 处理分别降低了稻米直链淀粉含量 2.3 和 3.7 个百分点，MNPK 处理稻米直链淀粉含量降低了 7.4%，M 处理直链淀粉含量提高了 2.1%。施肥对稻米胶稠度及食味值也有一定影响，与 CK 相比，NPK 与 RNPK 处理胶稠度分别提升了 5.0 和 3.5mm，NPK 处理比 MNPK 处理胶稠度提升了 3.7mm。与 CK 相比，NPK、MNPK、RNPK 处理不同程度提升稻米食味值；M 处理稻米食味值较 CK 下降 1.4%，且显著低于 NPK 和 RNPK 处理。

表 3 不同处理对稻米蒸煮品质的影响
Table 3 Effects of different treatments on the rice cooking quality

处理 Treatment	直链淀粉含量 (%) Amylose content	胶稠度 (mm) Gel consistency	食味值 Taste value
CK	18.9a	77.0b	72.0ab
NPK	15.1c	82.0a	73.5a
M	19.3a	76.5b	71.0b
MNPK	17.5b	78.3b	72.4ab
RNPK	16.6b	80.5a	73.2a

不同施肥处理，稻米 RVA 谱特征值峰值黏度、热浆黏度和崩解值均有增加，冷浆黏度、回复值和消减值均有降低（表 4），可见施肥能够提升稻米食味性。其中与 CK 相比，NPK 处理稻米 RVA 谱特征值中崩解值提高 71cP，达到最大，回复值和消减值最低，分别较 CK 降低 115 和 185cP，且糊化温度 70.2℃最低，对稻米食味性改善作用最显著。与单施有机肥相比，有机肥配施氮磷钾肥提高稻米峰值黏度，降低糊化温度及消减值，稻米食味性也有一定的改善。

2.4 不同施肥处理对稻米营养品质的影响

不同施肥处理对稻米营养品质影响较大（表 5），M、NPK、MNPK 和 RNPK 处理有效改善了稻米营养品质。与 CK 相比，NPK、MNPK 和 RNPK 处理均显著增加了稻米的含水量，增加量分别为 41.7%、23.3% 和 66.7%，其中 RNPK 处理含水量达到最高（10.0%）。与 CK 相比，NPK 处理稻米蛋白

表 4 不同处理对稻米 RVA 谱特征值的影响
Table 4 Effects of different treatments on RVA characteristic spectrum of rice cP

处理 Treatment	峰值黏度 Peak viscosity	热浆黏度 Hot paste viscosity	冷浆黏度 Cool paste viscosity	糊化温度 (℃) Gelatinization temperature	崩解值 Break down value	回复值 Recovery value	消减值 Setback value
CK	2 451c	1 706c	2 726a	78.4a	746c	1 021a	275a
NPK	2 601a	1 784a	2 691b	70.2b	817a	906c	90e
M	2 495b	1 746b	2 720a	77.4a	749c	974b	225b
MNPK	2 518b	1 750b	2 710ab	75.7ab	768b	960b	192c
RNPK	2 528b	1 759b	2 700ab	73.9ab	769b	941b	172d

质含量显著提高了 0.8 个百分点；MNPK 和 M 处理稻米蛋白质含量有所提高，但与 CK 差异性不显著。4 种施肥处理均提高了稻米钙元素的含量，与 CK 相比，NPK 处理使钙元素含量提升了 69.4%，达到最大；4 种施肥处理均使稻米镁和钾元素含量增加，M 处理较 CK 处理镁和钾元素含量分别增加 81.1% 和 60.9%；与 NPK、RNPK 和 M 处理相比，MNPK 处理显著降低稻米中钠元素含量。从表 5 也可看出，NPK 处理 Mg/K 达最大，RNPK 与 MNPK 处理稻米的 Mg/K 差异不显著。

表 5 不同处理对稻米营养品质的影响
Table 5 Effects of different treatments on the rice nutritional quality

处理 Treatment	含水量 Water content (%)	蛋白质含量 Protein content (%)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	K (mg/kg)	Na (mg/kg)	Mg/K
CK	6.0d	6.7b	29.1d	184.8d	770.1d	13.6d	0.24d
NPK	8.5b	7.5a	49.3a	326.7b	1 126.5b	21.9a	0.29a
M	6.2d	7.1ab	38.5c	334.6a	1 239.4a	19.4b	0.27c
MNPK	7.4c	7.0ab	43.8b	287.6c	1 027.2c	17.9c	0.28b
RNPK	10.0a	7.4a	42.0bc	283.4c	1 012.3c	18.9b	0.28b

2.5 稻米品质指标间的相关性分析

稻米品质指标间的相关性分析（表 6 和表 7）表明，稻米糙米率与精米率呈极显著正相关关系，糙米率、精米率与整精米率呈显著正相关。垩白度与垩白粒率间呈显著正相关关系。长宽比与垩白度、垩白粒率相关性不大。糙米率、精米率及整精

表 6 稻米加工、外观品质性状与食味品质指标间的相关分析
Table 6 Relationship between rice processing, appearance quality traits and taste quality indexes

项目 Item	糙米率 Brown rice rate	精米率 Milled rice rate	整精米率 Head rice rate	垩白粒率 Chalky grain rate	垩白度 Chalkiness degree	长宽比 Length/Width	食味值 Taste value	蛋白质含量 Protein content	直链淀粉含量 Amylose content	胶稠度 Gel consistency	消减值 Setback value
精米率 Milled rice rate	0.987**										
整精米率 Head rice rate	0.923*	0.954*									
垩白粒率 Chalky grain rate	-0.479	-0.488	-0.365								
垩白度 Chalkiness degree	-0.781	-0.775	-0.653	0.921*							
长宽比 Length/Width	0.507	0.390	0.261	0.202	-0.108						
食味值 Taste value	0.338	0.243	0.054	0.254	0.006	0.926*					
蛋白质含量 Protein content	0.808	0.711	0.638	-0.116	-0.459	0.876	0.668				
直链淀粉含量 Amylose content	-0.596	-0.517	-0.339	-0.089	0.220	-0.935*	-0.956*	-0.803			
胶稠度 Gel consistency	0.591	0.477	0.313	0.034	-0.265	0.984**	0.921*	0.895*	-0.955*		
消减值 Setback value	-0.843	-0.785	-0.658	0.100	0.456	-0.860	-0.784	-0.910*	0.930*	-0.899*	
糊化温度 Gelatinization temperature	-0.846	-0.755	-0.599	0.360	0.650	-0.824	-0.690	-0.942*	0.831	-0.897*	0.920*

注：* 在 0.05 水平上显著相关，** 在 0.01 水平上极显著相关。下同
Note: * is significant correlate at 0.05 level, ** is extremely significant correlate at 0.01 level. The same below

表 7 稻米 RVA 谱特征值与 Mg/K 相关分析
Table 7 Relationship between RVA spectrum eigenvalues and Mg/K in rice

项目 Item	峰值黏度 Peak viscosity	热浆黏度 Hot paste viscosity	冷浆黏度 Cool paste viscosity	崩解值 Break down value	消减值 Setback value	回复值 Recovery value	糊化温度 Gelatinization temperature
热浆黏度 Hot paste viscosity	0.965**						
冷浆黏度 Cool paste viscosity	-0.957*	-0.926*					
崩解值 Break down value	0.964**	0.860	-0.920*				
消减值 Setback value	-0.998**	-0.963**	0.973**	-0.962**			
回复值 Recovery value	-0.978**	-0.992**	0.967**	-0.895*	0.983**		
糊化温度 Gelatinization temperature	-0.920*	-0.887*	0.888*	-0.887*	0.920*	0.902*	
Mg/K	0.892*	0.967**	-0.874	0.753	-0.895*	-0.952*	-0.746

米率与垩白度呈负相关关系，可见加工品质提升的同时，稻米外观品质也有一定改善。直链淀粉含量与胶稠度呈显著负相关，稻米直链淀粉含量越低，胶稠度越长，蒸煮过后的米饭愈加柔软。蛋白质含量与直链淀粉含量呈负相关，与食味值呈正相关关系，但均未达显著水平，蛋白质含量、直链淀粉含量对稻米食味值有作用效果，但其内在关系还有待研究。

稻米 RVA 谱特征值消减值与糊化温度呈显著正相关关系，表明糊化温度越低的稻米，其消减值越小，稻米食味性较优。Mg/K 与 RVA 谱特征值中峰值黏度呈显著正相关，与崩解值呈正相关，与消减值呈显著负相关。峰值黏度与热浆黏度和崩解值呈极显著正相关关系；与冷浆黏度、糊化温度呈显著负相关，与消减值、回复值呈极显著负相关。

3 讨论与结论

本研究发现，稻米的加工品质受施肥处理的影响较小，但各指标数值均不高，可能与盐碱化稻田土壤障碍和氮素等养分利用率不高有关。稻米糙米率与精米率呈极显著正相关关系，糙米率、精米率与整精米率呈显著正相关关系。氮磷钾肥配施可以明显降低稻米垩白度和垩白粒率，同时可改善稻米的粒型（长宽比），提高了稻米外观品质。周江明^[18]研究表明，有机肥与化肥配施，或者提高有机肥比例后，稻米易碎，垩白会有所增加，外观品质则会下降。本研究结果也表明，施肥对稻米外观品质影响较大，有机肥配施氮磷钾肥和秸秆还田配施氮磷钾肥处理的稻米垩白度和垩白粒率增加程度较大，其原因可能是有机肥施用或秸秆还田延缓了化肥的肥效，导致水稻生殖期土壤仍保持着较高的氮素含量，过高的氮素会增加稻米的垩白度，降低稻米的外观品质。

胶稠度、直链淀粉和食味值是评价稻米蒸煮食味品质的重要衡量指标。胶稠度越大米饭越柔软，品质越好；直链淀粉含量越低，米饭越松软越好吃，淀粉中直链淀粉对大米的蒸煮和食用品质有着重要的影响。有研究表明，直链淀粉含量在 20% 以上的稻米，做成的米饭粘性小、质地硬、饭粒干燥、无光泽、食味差^[17,19-20]，故在优质米标准内，直链淀粉含量越低，米饭粘性越佳，越好吃。食味值是以实际的感官试验为基础，基于常年的感官食味评价和米粒内部结构成分的相关性计算出来的，数值越高，品质越好。徐锡明等^[21]研究表明直链淀粉含量低的稻米具有较高的食味值。

本研究中，5 种不同施肥处理的稻米直链淀粉含量在 15.1%~19.3%，均处于国家优质稻米直链淀粉含量范围。其中 NPK 处理稻米的直链淀粉含量最低，食味值最高，M 处理提高了稻米直链淀粉含量，食味值下降。相关性分析结果表明，直链淀粉含量与胶稠度呈显著负相关，直链淀粉含量高，稻米弹性黏度较差，使胶稠度变低。我国传统农业对有机肥的使用十分重视，它具有促进作物增产、提升品质、改善土壤质地等作用^[22]，主要是因为有机肥养分释放缓慢持久，可以循序渐进地被作物吸收利用，不至于造成某种元素含量的过度累积。但是，现在的农家有机肥中可能携带重金属，从而影响稻米品质^[23-24]。而化学肥料虽具有养分供应快等优点，但近年来化肥的过度滥用也带来许多问题。许多研究者纷纷倡导通过有机肥与化肥配施来改善稻米的品质^[25-26]。本试验结果出现了对稻米蒸煮食味品质 NPK>RNPK>MNPk>CK>M 的作用效果，说明在养分较为贫瘠的盐碱地稻田，氮磷钾化肥配施对稻米品质的改善作用是最快的，有机肥单施或与化肥联合施用在短期内对稻米品质可能还存在着一定的负向效应。因此，在苏打盐碱地稻田垦殖种

稻的初期阶段, 采用有机肥培育地力的同时, 应该注意有机肥对稻米品质的影响, 对于有机肥与化肥配施的合理用量也应通过试验进行深入探究。

本研究中, 4 种施肥处理都提高了稻米含水量, 其中 RNPk 处理稻米含水量最高, NPK、MNPk 和 RNPk 处理对稻米含水量、蛋白质含量均有明显的改善。过度干燥的稻米, 在蒸煮前浸泡时会引起龟裂, 进而煮出的米饭湿黏, 影响食用口感, 故稻米中含水量在优质米范围内数值越高越好。稻米中蛋白质含量高, 米饭越具营养, 有机肥施用对稻米蛋白质含量有明显影响, 从而影响稻米营养品质, 本研究中 M 与 MNPk 处理均提高了稻米蛋白质含量, 但提升幅度均不大, 可能是盐碱地自身障碍, 导致土壤板结通透性差, 水稻吸收养分能力弱导致。

有研究认为 RVA 谱特征值中稻米消减值、崩解值及直链淀粉含量均与食味值达到显著相关^[27-28], 品质较好的品种普遍表现为峰值黏度和崩解值较高, 糊化温度较低^[29-30]。也有研究认为稻米蛋白质含量与稻米 RVA 谱特征值并没有明显的关联^[31]。本研究结果表明, 稻米消减值与蛋白质含量达到显著负相关关系, 与直链淀粉含量呈显著正相关。陈书强^[32]研究认为, 蛋白质含量与峰值黏度、最低黏度和崩解值呈极显著负相关, 与消减值呈极显著正相关, 分析原因可能与试验材料的选择及其种植地土壤环境有关。杨文祥等^[33]研究认为稻米中矿质元素镁的比例越高, 稻米粘性越强, 食味性会有所提高。 Mg^{2+} 与 K^{+} 之间相互影响, 镁与钾存在协同作用, 随着植株体内镁浓度的升高, 钾的浓度也会相应升高, 这种现象被称为维茨效应^[34]。本研究表明经施肥处理 Mg/K 高的稻米, 峰值黏度、热浆黏度和崩解值明显高于对照, 消减值、回复值和糊化温度降低, 稻米食味性提高。其中, NPK 处理 Mg/K 最高 (0.29), 综合稻米 RVA 谱特征值, NPK 处理对稻米食味性作用效果最大。

长期增施有机肥或秸秆还田均能使作物增产, 改善土壤肥力^[35]。水稻种植在有机质含量较高的稻田中, 其子粒的蛋白质含量通常亦较高, 子粒的蛋白质含量增加导致直链淀粉含量降低^[36]。本研究认为, 由于试验地有机质含量较高, 秸秆还田处理肥效慢, 稻米蛋白质增加量及直链淀粉减少量较纯施化肥处理低。同时, 东北苏打盐碱土由于土壤板结, 秸秆还田长期淹水较间歇灌溉降低了土壤有机碳、全氮和全磷含量, 也影响到水稻对部分养分的吸收。

综上所述, 盐碱地稻田由于盐碱障碍等原因, 可能影响到水稻对养分的吸收, 因此, 氮磷钾化肥配施不仅能提高稻米产量, 还具有提高稻米品质作用。有机肥施用和秸秆还田可能对培肥地力有很大帮助, 但短期内对提高稻米产量和品质的作用微乎其微。有关盐碱地稻田如何科学培肥更有利于稻米品质的提升, 还有待通过长期的试验进一步研究。

参考文献

- [1]Indira C. Effect of nitrogen fertilizers on growth, yield and quality of hybrid rice (*Oryza sativa* L.). Journal of Central European Agriculture, 2005, 6(4): 611-618.
- [2]王康君, 葛立立, 范苗苗, 等. 稻米蛋白质含量及其影响因素的研究进展. 作物杂志, 2011(6): 1-6.
- [3]Rao Y C, Li Y Y, Qian Q, et al. Recent progress on molecular breeding of rice in China. Plant Cell Reports, 2014, 33(4): 551-564.
- [4]王才林, 朱镇, 张亚东, 等. 江苏省梗稻品质育种的现状与对策. 北方水稻, 2007(3): 14-18.
- [5]季维春, 丁春雨, 杨威, 等. 积极推进盐碱地治理, 确保粮食有效供给. 中国农业资源与区划, 2013, 34(6): 70-73.
- [6]Chi C M, Zhao C W, Sun X J, et al. Reclamation of saline-sodic soil properties and improvement of rice (*Oryza sativa* L.) growth and yield using desulfurized gypsum in the west of Songnen Plain, northeast China. Geoderma, 2012, 187/188: 24-30.
- [7]Huang L H, Liang Z W, Suarez D L, et al. Impact of cultivation year, nitrogen fertilization rate and irrigation water quality on soil salinity and soil nitrogen in saline-sodic paddy fields in Northeast China. The Journal of Agricultural Science, 2016, 154(4): 632-646.
- [8]黄立华, 沈娟, 冯国忠, 等. 不同氮磷钾肥配施对盐碱地水稻产量性状和吸肥规律的影响. 农业现代化研究, 2010, 31(2): 216-219.
- [9]Tan Y F, Xing Y Z, Li J X, et al. Genetic bases of appearance quality of rice grains in Shanyou 63, an elite rice hybrid. Theoretical and Applied Genetics, 2000, 101(5/6): 823-829.
- [10]林建荣, 石春海, 吴明国. 梗稻稻米外观和碾磨品质性状与植株农艺性状的遗传关系分析. 作物学报, 2003, 29(4): 581-586.
- [11]王志友, 金铁, 郭昱材, 等. 浅谈影响稻米品质的主要因素及对策. 北方水稻, 2008(4): 33-35.
- [12]金正勋, 秋太权, 孙艳丽, 等. 氮肥对稻米垩白及蒸煮食味品质特性的影响. 植物营养与肥料学报, 2001(1): 31-35.
- [13]杨建. 钾对水稻生长发育及生理功能影响分析. 吉林农业科学, 2008, 6(1): 14-17.
- [14]张唤, 黄立华, 李洋洋, 等. 东北苏打盐碱地种稻研究与实践. 土壤与作物, 2016, 5(3): 191-197.
- [15]刘庆丰, 荆秋, 赵金彪, 等. 关于盐碱地改良与水稻种植技术的探讨. 种子科技, 2016, 34(12): 43-44.
- [16]王静, 肖国举, 张峰举, 等. 秸秆还田配施腐熟剂对银北盐碱地改良效果研究. 干旱地区农业研究, 2017, 35(6): 209-215, 283.
- [17]吴春艳, 陈义, 许育新, 等. 长期定位试验中施肥对稻米品质的影响. 浙江农业学报, 2008(4): 256-260.
- [18]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. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(1): 234-240.
- [19]陈能, 罗玉坤, 朱智伟, 等. 优质食用稻米品质的理化指标与食味相关性研究. 中国水稻科学, 1997, 11(2): 70-76.
- [20]蔡一霞, 朱智伟, 王维, 等. 直链淀粉含量与稻米品质主要性状及米饭质地关系的研究. 扬州大学学报 (农业与生命科学版), 2005, 26(4): 52-55.

- [21]徐锡明,张欣,施利利,等.直链淀粉含量偏低型杂交粳稻组合的稻米品质评价.作物杂志,2016(6):44-48.
- [22]张兰,班雁华,龙智翔,等.不同有机肥料对有机稻米品质的影响.安徽农业科学,2013,41(22):9287-9289.
- [23]Coggins A M, Jennings S G, Ebinghaus R. Accumulation rates of the heavy metals lead, mercury and cadmium in ombrotrophic peatlands in the west of Ireland. Atmospheric Environment, 2006, 40(2): 260-278.
- [24]Nicholson F A, Chambers B J, Williams J R, et al. Heavy metal contents of livestock feeds and animal manures in England and Wales. Bioresource Technology, 1999, 70(1): 23-31.
- [25]聂俊,邱俊荣,史亮亮,等.有机肥和化肥配施对抛栽水稻产量、品质及钾吸收转运的影响.江苏农业科学,2016,44(2):122-125.
- [26]李先,刘强,荣湘民,等.有机肥对水稻产量和品质及氮肥利用率的影响.湖南农业大学学报(自然科学版),2010,36(3):258-262.
- [27]李旭,毛艇,张睿,等.水稻收获时期对稻米淀粉RVA特性和食味品质的影响.贵州农业科学,2014,42(4):55-57.
- [28]徐正进,韩勇,邵国军,等.东北三省水稻品质性状比较研究.中国水稻科学,2010,24(5):531-534.
- [29]吴殿星,舒庆尧,夏英武,等.利用RVA谱快速鉴别不同表观直链淀粉含量早籼稻的淀粉粘滞特性.中国水稻科学,2001,15(1):57-59.
- [30]张小明,石春海,富田桂.粳稻米淀粉特性与食味间的相关性分析.中国水稻科学,2002,16(2):157-161.
- [31]丁得亮,张欣,赵梅,等.粳稻品质性状间的相关关系研究.作物杂志,2010(5):60-63.
- [32]陈书强.粳稻米蒸煮食味品质与其他品质性状的典型相关分析.西北农业学报,2015,24(1):60-67.
- [33]杨文祥,王强盛,王绍华,等.镁肥对水稻镁吸收与分配及稻米食味品质的影响.西北植物学报,2006,26(12):2473-2478.
- [34]廖红,严小龙.高级植物营养学.北京:科学出版社,2003:186.
- [35]盖霞普,刘宏斌,翟丽梅,等.长期增施有机肥/秸秆还田对土壤氮素淋失风险的影响.中国农业科学,2018,51(12):2336-2347.
- [36]汤海涛,马国辉,廖育林,等.土壤营养元素对稻米品质的影响.农业现代化研究,2009,30(6):735-738.

Effects of Organic Fertilizer and Straw Returning on Nutrition and Taste Quality of Rice in Saline-Sodic Soil of Northeast China

Li Guannan^{1,2}, Huang Lihua², Zhang Lu²,
Chen Jiaying^{1,2}, Yang Jingmin¹

⁽¹⁾College of Resources and Environment, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, Jilin, China;

⁽²⁾Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130102, Jilin, China)

Abstract The effects of different fertilization measures on rice qualities were studied by long-term field fertilization experiment in saline-sodic soil paddy and laboratory analysis. Five different fertilization treatments including CK, NPK, M, MNPK and RNPK were used in the experiment. The results showed that four fertilization treatments improved brown rice rate, milled rice rate and head rice rate compared to CK treatment, and improved paddy rice processing quality to a certain extent; NPK and M treatments improved rice appearance quality; MNPK and RNPK treatments reduced rice appearance quality; N, P and K fertilizer combination could improve rice protein content, water content and rice taste quality, which was the best in the initial stage of rice planting in saline- sodic soil paddy. In summary, organic fertilization application cannot improve rice quality in saline-sodic soil paddy in a short time span. Rational application of chemical fertilizers should be an important fertilization measure in the primary stage of planting rice in saline-sodic soil paddy. The issue of organic fertilization application and rice quality improvement in saline-sodic soil paddy is a long-term process, which needs further study.

Key words Saline-sodic soil; Rice; Organic fertilizer; Straw returning to field; Nutritional taste quality