

有机肥部分替代氮肥的盐碱土壤改良与水稻增产效应研究^①

唐奇志¹, 汪帆¹, 时金泽^{2,4}, 钟宇帆¹, 刘广明^{2*}, 姚宇阒^{3*}

(1 江苏省沿海农业发展有限公司, 南京 210019; 2 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008; 3 江苏省沿海开发集团股份有限公司, 南京 210019; 4 新疆农业大学资源与环境学院, 乌鲁木齐 830052)

摘要: 本研究旨在揭示利用有机肥部分替代氮肥实现作物增产和土壤改良的可能性及其机理。以南粳 9108 为供试水稻品种, 设置 4 个处理: 常规施肥(T1), 低量自配有机肥部分替代氮肥(T2), 高量自配有机肥部分替代氮肥(T3), 不施肥(CK), T1、T2 和 T3 采用等氮量设计(315 kg/hm²), 开展田间试验。研究表明: 较常规施肥, 有机肥部分替代氮肥能够显著降低土壤 pH、提升土壤有效磷和速效钾、增强脲酶和碱性磷酸酶活性、增加土壤有机质和碱解氮; 能够显著增加收获时的水稻干物质积累量, 一定程度地提升水稻株高, 促进水稻分蘖并且增加穗粒数、结实率和千粒重。有机肥部分替代氮肥能够实现土壤改良和水稻增产。

关键词: 有机肥; 氮肥; 稻田土壤; 化肥减量

中图分类号: S15 文献标志码: A

Effects of Partial Substitution of Organic Fertilizer for Nitrogen Fertilizer on Saline-alkali Soil Improvement and Rice Yield Increase

TANG Qizhi¹, WANG Fan¹, SHI Jinze^{2,4}, ZHONG Yufan¹, LIU Guangming^{2*}, YAO Yutian^{3*}

(1 Jiangsu Coastal Agriculture Development Co., Ltd., Nanjing 210019, China; 2 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 3 Jiangsu Coastal Development Group Co., Ltd., Nanjing 210019, China; 4 College of Resources and Environment, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: A field experiment was carried out to reveal the possibility and mechanism of partially replacing nitrogen fertilizer with organic fertilizer to increase crop yield and improve soil quality, in which, Nanneng 9108 of the rice variety was selected for test, and four treatments were set up (T1, conventional fertilization; T2 and T3, low and high amount of self-prepared organic fertilizer replacing part of conventional nitrogen fertilization; and CK, no fertilization). The results showed that compared with T1, T2 and T3 significantly reduced soil pH, increased the contents of soil organic matter, alkali-hydrolyzed nitrogen, available phosphorus and available potassium, enhanced the activities of urease and alkaline phosphatase, significantly increased rice dry matter accumulation, and increased grain number per spike, seed setting rate, 1000-grain weight and yield during harvest to some extent. In conclusion, organic fertilizer can partially replace conventional nitrogen fertilizer to improve soil quality and increase rice production.

Key words: Organic fertilizer; Nitrogen fertilizer; Rice field soil; Reduction of fertilizer

水稻是全球主要粮食作物之一, 供应了 50% 以上全球总人口的主粮, 我国有超过 2/3 的人口在日常食用稻米^[1]。据统计, 截至 2020 年我国水稻种植面积已经超过 3×10⁷ hm², 占我国粮食种植总面积的 32.2%, 水稻总产量为 2.08 亿 t。我国水稻高产是以高化肥投入为前提的, 氮肥用量占全球氮肥总用量的 30%~40%, 其中水稻生产所消耗的氮肥占全球水稻

氮肥总用量的 37%, 是世界第一大氮肥消耗国^[2]。氮磷钾等无机肥料的施用可以一定程度地提高作物产量, 但过量的氮肥施用不仅不能进一步增产, 还可能导致土壤板结等地力退化、资源浪费和面源污染等问题。我国有机肥资源丰富, 包括畜禽粪便、秸秆、有机化工产物等, 都可通过技术手段转化为有机肥料从而应用于农业生产, 其中所含的氮磷钾约为 7.52 t^[3]。

①基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFD1900104)和江苏省沿海开发集团有限公司青年创新项目(2021110101)资助。

* 通讯作者(gmliu@issas.ac.cn; yaoyt@126.com)

作者简介: 唐奇志(1977—), 男, 湖南祁东人, 硕士, 农艺师, 主要从事盐碱地改良方面的研究。E-mail: 570967925@qq.com

长期施用有机肥以部分替代化肥可以有效改善土壤养分状况、增强土壤微生物活性和改良土壤结构^[4]。研究表明,有机肥可以改善土壤的理化性质和营养状况,提高土壤肥力,使水稻产量达到甚至高于单施化肥的情况^[5]。氮素是保证水稻高产且稳定的关键元素^[6],陈香碧等^[7]研究表明:有机肥替代部分氮肥,在氮肥施用量相同的情况下,有机肥和氮肥配施可以增加水稻产量,增产量最高达 20%,并且随着有机肥的连年施用,增产效果越发明显。

我国广阔的滨海盐碱区分布着较大面积的稻田。具有一定量的盐分、有机质含量低、极度缺氮和少磷富钾是滨海盐碱农田土壤的基本特征。利用水稻具有一定耐盐碱能力和灌溉水生的优势,可以加速盐碱地脱盐与养分积累,从而实现盐碱地土壤的改良利用。现有研究多集中于盐碱地水稻适宜品种培育、合理栽植密度等方面^[8-9],对滨海盐碱地水稻种植的合理肥料用量、有机肥料替代无机肥料可行性与其对水稻增产提质及土壤改良效应的研究较少。本研究通过在滨海轻度盐碱地开展不同有机肥部分替代氮肥模式对水稻增产和土壤改良效应的研究,旨在探讨应用有机肥部分替代氮肥实现水稻增产及其土壤生境改良的可能性,为滨海盐碱地资源高效利用提供可靠理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验区位于江苏省沿海农业发展有限公司射阳分公司双洋片农场,属于亚热带季风性湿润气候区,

年均温度 15 °C,年均降水量 1 155 mm。试验土壤质地为砂质土壤,土壤性状均一,肥力均匀。播种前 0~20 cm 土层土壤有机质含量为 10.05 g/kg,碱解氮含量为 64.19 mg/kg,速效钾含量为 80.40 mg/kg,有效磷含量为 13.50 mg/kg,土壤 pH 为 8.50,土壤全盐含量为 1.62 g/kg,属轻度盐渍化土壤。

1.2 试验材料

供试水稻品种为“南粳 9108”,种植周期为 129 d。供试磷肥为磷酸二铵(含 N 150 g/kg, P₂O₅ 420 g/kg, K₂O 0 g/kg),氮肥为尿素(含 N 464 g/kg)。有机肥(含 N 15 g/kg, P₂O₅ 10 g/kg, K₂O 15 g/kg)为自主配制,其具体成分为:牛粪 40%、鸡粪 20%、菇渣 35%、矿源黄腐酸钾 0.2%、海藻酸钾 0.1%、铁 0.1%、硼 0.1%、锌 0.1%,该配方着重于尽量降低有机肥盐分含量,添加增效物质,有效改善土壤结构并添加微量元素以提高供试土壤有效微量元素含量。

1.3 试验设计

试验开始于 2021 年 6 月 13 日,结束于 2021 年 10 月 27 日,采用小区试验,每个小区 50 m²。试验共设 4 个处理:CK,空白处理,不施肥;T1,常规施肥,主要施加尿素、磷酸二铵以及 15-15-15 复合肥;T2,低量自配有机肥替代部分常规施肥;T3,高量自配有机肥替代部分常规施肥;T1、T2 和 T3 采用等氮量(315 kg/hm²)设计。每个处理设置 3 次重复。各处理的具体施肥用量见表 1。栽植方式为机插,每公顷 3.33×10⁵ 穴,每穴 4 苗,行距 25 cm,株距 12 cm。其余田间管理措施与当地常规管理措施一致。

表 1 各处理施肥方案(kg/hm²)
Table 1 Fertilizer application programs for each treatment

处理	底肥	活棵肥	分蘖肥	拔节肥	促花肥	保花肥
T1	磷酸二铵 225	尿素 112.5	尿素 112.5+复合肥 150	尿素 112.5	尿素 112.5	尿素 112.5
T2	磷酸二铵 225+有机肥 3 375	尿素 75	尿素 75+复合肥 150	尿素 112.5	尿素 112.5	尿素 75
T3	磷酸二铵 225+有机肥 6 000	尿素 75	尿素 75+复合肥 150	尿素 75	尿素 112.5	尿素 75
CK			不施加肥料			

1.4 测定指标与方法

试验地土壤理化性质通过对水稻收获后采集土样检测获得,其中土壤容重、土壤孔隙度以及土壤饱和含水量采用环刀法测定。采样过程中避开作物边行,采集稻株穴间去除表层杂质的土壤,使得所采集土壤具有代表性和一致性。土壤样品装于无菌密封袋,带回实验室后经自然风干、磨碎和过筛,测定土壤样品的 pH、有机质、碱解氮、有效磷、速效钾以

及土壤酶活性等指标,其中土壤碱解氮、有效磷、速效钾等含量测定参考鲍士旦^[10]主编的《土壤农化分析》,土壤有机质采用重铬酸钾-浓硫酸外加热法测定,pH 由 pH 计对 1:5 土水质量比浸提液测定,土壤酶活性采用苯酚钠次氯酸钠比色法测定。

1.5 数据处理与分析

试验数据采用 Excel 进行处理,采用 SPSS Statistics 20.0 软件进行数据分析,不同处理间的差异

显著性运用邓肯(Duncan)法进行分析。采用 Origin 2016 软件进行图表制作。对本研究获得的土壤理化性质各指标进行主成分分析,以各主成分的综合得分作为不同处理土壤改良效应优劣的判定依据。

2 结果与分析

2.1 有机肥部分替代氮肥对稻田土壤物理性状改良效应

有机肥部分替代氮肥对土壤物理性状的影响如表 2 所示。有机肥部分替代氮肥处理 T2 和 T3 的土壤容重较 T1 处理有所下降,而土壤含水量和孔隙度则有所增大,其中 T2 和 T3 处理的土壤容重较 T1 处理分别下降 6.62% 和 2.94%,土壤孔隙度均提高 4.35%,但 3 个处理之间的土壤容重和孔隙度均无显著差异;T2 与 T1 处理的土壤含水量差异显著,较 T1 处理增加了 12%,T3 较 T1 处理的土壤含水量增加了 8%,但二者之间无显著差异。在常规施氮量的基础上实行有机肥部分替代氮肥可以一定程度提高稻田土壤的孔隙度、降低土壤容重和提升土壤含水量。

表 2 有机肥部分替代氮肥条件下的土壤物理性质
Table 2 Soil physical properties under condition of partial substitution of organic fertilizer for nitrogen fertilizer

处理	土壤饱和含水量(%)	土壤容重(g/cm ³)	土壤孔隙度(%)
T1	0.25 ± 0.01 b	1.36 ± 0.07 a	45.90 ± 0.89 ab
T2	0.28 ± 0.01 a	1.27 ± 0.07 a	48.14 ± 0.98 a
T3	0.27 ± 0.01 ab	1.32 ± 0.05 a	48.43 ± 0.31 a
CK	0.25 ± 0.01 b	1.35 ± 0.03 a	45.41 ± 2.35 b

注: 同列数据小写字母不同表示处理间差异显著($P < 0.05$), 下表同。

表 3 有机肥部分替代氮肥条件下的土壤 pH 和养分

Table 3 Soil pH and nutrients under condition of partial substitution of organic fertilizer for nitrogen fertilizer

处理	pH	有机质(g/kg)	碱解氮(mg/kg)	有效磷(mg/kg)	速效钾(mg/kg)
T1	8.41 ± 0.08 ab	11.07 ± 0.26 a	40.37 ± 1.10 a	13.51 ± 0.15 b	90.67 ± 2.89 c
T2	8.35 ± 0.02 b	12.82 ± 1.37 a	45.65 ± 6.41 a	19.86 ± 2.46 a	112.33 ± 3.79 a
T3	8.20 ± 0.07 c	12.92 ± 2.42 a	47.16 ± 10.49 a	18.82 ± 1.30 a	107.33 ± 3.06 ab
CK	8.47 ± 0.06 a	11.19 ± 0.11 a	40.64 ± 0.81 a	13.40 ± 1.12 b	99.00 ± 7.00 bc

表 4 有机肥部分替代氮肥条件下的土壤酶活性

Table 4 Soil enzyme activities under condition of partial substitution of organic fertilizer for nitrogen fertilizer

处理	过氧化氢酶 (U/g)	脲酶(U/g)	碱性磷酸酶 (U/g)
T1	112.55 ± 4.19 ab	243.92 ± 10.43 bc	5 760.11 ± 114.83 b
T2	115.24 ± 2.75 ab	258.32 ± 11.5 b	9 445.12 ± 48.11 a
T3	115.61 ± 1.76 a	316.05 ± 11.45 a	9 915.77 ± 39.47 a
CK	109.88 ± 3.46 b	227.28 ± 9.74 c	4 402.73 ± 73.16 c

2.2 有机肥部分替代氮肥对稻田土壤养分提升效应

如表 3 所示,与 CK 相比,施肥处理 T1、T2、T3 的稻田土壤 pH 均有所下降,3 个处理的 pH 从大到小的顺序为 T1>T2>T3,且 T3 处理显著低于 T2、T1 处理;各处理之间的有机质和碱解氮含量均无显著差异,但 T2、T3 处理的有机质和碱解氮含量均大于 T1 处理,且均为 T3 处理最高;T2 和 T3 处理土壤有效磷和速效钾含量均较 T1 显著增加,其中有效磷含量分别增加了 47.00% 和 39.30%,速效钾含量分别增加了 23.89% 和 18.37%,T2 和 T3 处理间无显著差异。综上所述,有机肥部分替代氮肥可以调节土壤酸碱度,使得土壤 pH 显著降低,同时显著提高土壤有效磷和速效钾含量。

2.3 有机肥部分替代氮肥对稻田土壤酶活性增强效应

有机肥部分替代氮肥对稻田土壤酶活性效应影响显示(表 4),处理 T3 的脲酶和碱性磷酸酶活性较 T1 均显著增强,过氧化氢酶活性较 T1、T2 均有所增强但差异不显著;T2 的土壤碱性磷酸酶活性较 T1 显著增强,但过氧化氢酶与脲酶活性较 T1 无显著差异;T3 的脲酶活性显著高于 T2。综上所述,有机肥部分替代氮肥可以使稻田土壤的脲酶和碱性磷酸酶的活性均所提升,其中脲酶活性会随着有机肥施用量的增加而显著增强。

2.4 有机肥部分替代氮肥对土壤改良的综合效应评价

为了客观分析不同处理对土壤改良的多方面效应,应用主成分分析法进行综合评价。如表 5 和表 6

表 5 主成分因子载荷矩阵
Table 5 Principal component factor loading matrix

主成分	土壤含水量	土壤容重	土壤孔隙度	pH	有机质	碱解氮	有效磷	速效钾	过氧化氢酶	脲酶	碱性磷酸酶
F1	0.958	-0.821	0.997	-0.861	0.994	0.986	0.985	0.877	0.935	0.806	0.989
F2	-0.273	0.567	0.061	-0.505	-0.045	0.088	-0.169	-0.398	0.162	0.58	0.087

表 6 主成分因子的综合得分
Table 6 Comprehensive scores of principal component factors

处理	F1	F2	综合得分
T1	-7.53	0.68	-6.40
T2	7.75	-1.43	6.51
T3	8.71	1.30	7.64
CK	-8.93	-0.55	-7.74

所示, 获得了各主成分因子的载荷和主成分综合得分。根据特征值大于 1 的原则, 选择排名靠前的两个主成分因子 F1、F2; 由主成分综合得分可以看出 T3 处理的综合得分最高, 说明该处理的土壤改良综合效应最优。

表 7 有机肥部分替代氮肥条件下的水稻茎蘖数与株高

Table 7 Numbers of rice tillers and plant height under condition of partial substitution of organic fertilizer for nitrogen fertilizer

处理	茎蘖数(个/穴)				株高(cm)
	分蘖期	拔节期	抽穗期	成熟期	
T1	25.42 ± 3.89 a	28.00 ± 4.55 a	22.53 ± 0.48 a	22.13 ± 2.55 a	97.56 ± 1.54 a
T2	27.20 ± 1.22 a	29.24 ± 2.02 a	26.13 ± 2.12 a	24.80 ± 2.62 a	99.55 ± 2.55 a
T3	24.44 ± 3.29 a	28.62 ± 1.78 a	25.95 ± 1.26 a	23.73 ± 1.51 a	97.44 ± 1.26 a
CK	18.67 ± 1.48 b	20.36 ± 1.77 b	17.51 ± 2.93 b	16.94 ± 2.01 b	88.06 ± 3.7 b

干物质积累是水稻生物量和产量的基础。由表 8 可知, 从齐穗期开始水稻干物质积累量逐渐增加, 其中齐穗期至成熟期的增长速度最快, 从成熟期到完熟期的增长速度有所下降。齐穗期处理 T1、T2、T3 的水稻干物质积累量无显著差异; 成熟期时 T2 的水稻干物质积累量显著高于处理 T3 和 T1; 完熟期 T2 和 T3 的水稻干物质积累量显著高于处理 T1, 但 T2 与 T3 之间差异不显著, 3 个处理完熟期水稻

2.5 有机肥部分替代氮肥促进水稻生长发育及增产效应

如表 7 所示, 有机肥部分替代氮肥的处理 T2、T3 的水稻株高与常规施肥处理 T1 间无显著差异; 与 CK 相比, 3 种处理下的株高均显著增加, 且 T2 处理的增加趋势最为明显。由此可见, 有机肥部分替代氮肥可以提升水稻株高, 有利于植株整体生物产量的提升。同时随着水稻生育进程的推进, 水稻茎蘖数呈现先增加后减少的趋势, 在拔节期达到最大值; 与 CK 相比, 施肥处理 T1、T2、T3 的茎蘖数在各生育期均显著增加, 且均以 T2 处理增加最多, 表明低量有机肥部分替代氮肥可以促进水稻分蘖, 利于水稻增产。

干物质积累量从高到低为 T2>T3>T1。综上所述, 有机肥部分替代氮肥可以显著增加收获时的水稻干物质积累量。

由表 9 可知, 尽管处理 T1、T2、T3 之间的水稻穗数、穗粒数、结实率、千粒重和产量等指标均无显著差异, 但 T3 处理的结实率、千粒重和产量等指标均最大, T2 处理的产量次之, 可见有机肥部分替代氮肥能够促进水稻增产。

表 8 有机肥部分替代氮肥条件下的水稻穗干物质积累量(t/hm²)

Table 8 Dry matter accumulation in rice panicle under condition of partial substitution of organic fertilizer for nitrogen fertilizer

处理	齐穗期	成熟期	完熟期
T1	3.83 ± 0.03 a	9.34 ± 0.77 bc	10.28 ± 0.58 b
T2	3.92 ± 0.10 a	12.97 ± 1.19 a	13.61 ± 0.85 a
T3	3.83 ± 1.04 a	10.55 ± 0.63 b	12.30 ± 1.52 a
CK	2.45 ± 0.36 b	8.17 ± 0.80 c	9.69 ± 2.41 b

表 9 有机肥部分替代氮肥条件下的水稻特征指标
Table 9 Rice yield components under condition of partial substitution of organic fertilizer for nitrogen fertilizer

处理	穗数($10^4/\text{hm}^2$)	穗粒数	结实率(%)	千粒重(g)	产量(kg/hm^2)
T1	22.13 ± 2.55 a	112.40 ± 2.91 a	0.93 ± 0.02 a	26.11 ± 0.63 a	10 511.16 ± 388.98 a
T2	24.80 ± 2.62 a	110.60 ± 5.44 a	0.95 ± 0.02 a	26.73 ± 2.98 a	10 713.15 ± 548.76 a
T3	23.73 ± 1.51 a	111.40 ± 6.97 a	0.97 ± 0.03 a	26.77 ± 1.75 a	10 848.6 ± 709.90 a
CK	16.94 ± 2.01 b	89.93 ± 7.46 a	0.88 ± 0.01 b	22.69 ± 3.05 a	8 513.4 ± 358.22 b

3 讨论

3.1 有机肥部分替代氮肥对稻田土壤理化性质的影响

张雪辰等^[11]研究发现, 通过不同外源物料掺拌、施用改良剂等方法处理, 可以有效增加土壤毛管孔隙度与总孔隙度并降低土壤容重。土壤容重和土壤孔隙度是衡量土体物理结构的重要指标依据, 更是直接影响土壤固相值与气相值的关键因素。土壤含水量作为表征土壤水分状况的特征指标, 反映出土壤保水性能的强弱。本研究表明, 有机肥部分替代氮肥可以使得土壤容重较单施化肥降低 2.94% ~ 6.62%, 土壤孔隙度增加 4.35%, 并且可以提高土壤含水量, 这与前人研究结果趋势一致^[12]。

土壤 pH 影响着土壤中各项活动的进程, 包括土壤有机质的分解、矿物质元素的释放, 同时也影响着土壤微生物的生命活动。偏酸性土壤更适合于水稻的生长发育, 试验地的土壤大环境处于弱碱性, 因此应用的措施如果能够有效降低土壤 pH 将有助于水稻生长。本研究结果表明, 有机肥部分替代氮肥可以使得土壤 pH 降低, 且高量有机肥替代情况下 pH 降低的效果更为显著。土壤生物的能量主要来源于土壤有机质, 土壤有机质含量的高低直接关系到土壤中各类微生物菌群生存, 并且有机质含量越高, 土壤肥力和缓冲能力会越好^[13], 有机质的提升有利于保证稻田土壤肥力。在本研究中, 通过对常规施肥与低量或高量有机肥部分替代氮肥的对比发现, 有机肥部分替代氮肥可以增加土壤有机质, 且随着有机肥施用量的增加效果更为明显, 这与有机肥本身有机质含量高有很大的关系。土壤中的碱解氮、有效磷可直接在作物生长发育期间被作物吸收利用, 土壤中能被当季作物直接吸收利用的水溶性钾和交换性钾则被统称为速效钾, 土壤中这 3 类物质含量的高低对于水稻生长发育有着至关重要作用。本研究表明有机肥部分替代氮肥可以提高土壤有机质、碱解氮、有效磷和速效钾含量; 随着有机肥施用量增大, 有效磷和速效钾含量会有所下降, 但低量有机肥与高量有机肥部分替代氮肥之间

的土壤有效磷含量或速效钾含量并无显著差异。综上所述, 有机肥部分替代氮肥可以显著提升稻田土壤有效磷和速效钾含量, 且对土壤 pH 具有显著的降低作用, 这些效果均会促进土壤中有益微生物含量增加和土壤中营养元素矿化, 进而保障水稻生长发育必需养分的供应。

土壤中的过氧化氢酶与土壤呼吸强度及土壤微生物活动有密切关系, 其活性可以在一定程度上反映土壤微生物过程的强度, 而过氧化氢是由生物呼吸过程中和有机物进行的生物化学氧化反应产生的, 其对生物和土壤均具有毒害作用, 存在于土壤中的过氧化氢酶可以促进过氧化氢的分解, 从而解除了过氧化氢的毒害作用^[14]。土壤中的脲酶活性与土壤微生物数量、有机质含量、速效氮和全氮含量呈正相关, 因此人们常用土壤中脲酶的活性来表征土壤中的氮素情况^[15]。土壤碱性磷酸酶主要是对磷酸单酯和磷酸二酯的水解起到催化作用, 土壤有机磷只有在土壤碱性磷酸酶作用下才能转化为可以被植物吸收利用的无机态磷^[16]。本研究显示, 有机肥部分替代氮肥可以增强土壤中的脲酶、碱性磷酸酶的活性, 并且高量有机肥较低量有机肥部分替代氮肥进一步增强了土壤脲酶活性, 这与宋震震等^[17]和罗兴录等^[18]的研究结果一致。

3.2 有机肥部分替代氮肥对水稻生长发育及产量的影响

有机肥是农业生产中常见的肥料, 自 2015 年农业部提出化肥零增长后, 利用有机肥替代化肥已成为相关领域的研究重点^[19]。有研究表明, 无机肥配施有机肥条件下水稻产量会高于单施化肥, 对于水稻增产具有良好作用^[20], 同时利用有机肥替代化肥可以改善土壤中的氮素供应情况, 将水稻的氮素吸收过程进行协调处理, 最终实现水稻增产的效果^[21]。同时有研究表明, 水稻的分蘖多、穗粒数大、结实率高则产量就会较高^[22]。本研究表明, 有机肥部分替代氮肥可以增加水稻株高, 这对于植株整体生物产量的提高具有良好效应, 且完熟期水稻干物质质量较常规施肥显著增加, 同时水稻分蘖数有所增加, 高量有机肥部

分替代氮肥条件下的水稻结实率、千粒重和产量均优于低量有机肥部分替代氮肥和常规施肥,但没有显著差异。综上所述,有机肥部分替代氮肥具有一定的水稻增产效应。

4 结论

1)有机肥部分替代氮肥可以显著降低土壤 pH,显著提升土壤有效磷和速效钾含量,显著增强脲酶和碱性磷酸酶活性,有增加土壤孔隙度、降低土壤容重、提升土壤含水量和增加土壤有机质及碱解氮的趋势。

2)有机肥部分替代氮肥可以显著增加收获时的水稻干物质积累量,一定程度提升水稻株高、促进水稻分蘖并且增加结实率和千粒重,实现水稻增产。

3)有机肥部分替代氮肥能够保障作物增产和稻田土壤环境改善。

参考文献:

- [1] 翟虎渠. 中国粮食安全国家战略研究[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2011.
- [2] Buresh P S W J. Challenge and opportunity in improving fertilizer-nitrogen use efficiency of irrigated rice in China[J]. 农业科学学报(英文版), 2002, 1(7): 776-785.
- [3] 杜为研, 唐杉, 汪洪. 我国有机肥资源及产业发展现状[J]. 中国土壤与肥料, 2020(3): 210-219.
- [4] 潘晓健. 有机肥对土壤肥力和土壤环境质量的影响研究进展[J]. 农业开发与装备, 2019(8): 29.
- [5] 董春华, 高菊生, 曾希柏, 等. 长期有机无机肥配施下红壤性稻田水稻产量及土壤有机碳变化特征[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(2): 336-345.
- [6] 侯云鹏, 杨建, 李前, 等. 施氮对水稻产量、氮素利用及土壤无机氮积累的影响[J]. 土壤通报, 2016, 47(1): 118-124.
- [7] 陈香碧, 胡亚军, 秦红灵, 等. 稻作系统有机肥替代部分化肥的土壤氮循环特征及增产机制[J]. 应用生态学报, 2020, 31(3): 1033-1042.
- [8] 贾彦博. 水稻(*Oryza sativa* L.)钾高效营养的生理机制研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2008.
- [9] 许凤英, 张秀娟, 王晓玲, 等. 液体硅钾肥对水稻冠层结构、光合特性及产量的影响[J]. 江苏农业学报, 2014, 30(1): 67-72.
- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [11] 张雪辰, 陈诚, 苏里坦, 等. 聚丙烯酰胺改良盐渍土壤的适宜用量研究[J]. 土壤, 2017, 49(6): 1216-1220.
- [12] 孟繁昊. 生物炭配施氮肥对土壤理化性质及春玉米产量和氮效率的影响机制[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2018.
- [13] 汪建飞, 周毅, 高祥, 等. 施用生物有机肥对连作滁菊产量及土壤微生物区系的影响[J]. 土壤通报, 2014, 45(2): 394-397.
- [14] 王娟, 刘淑英, 王平, 等. 不同施肥处理对西北半干旱区土壤酶活性的影响及其动态变化[J]. 土壤通报, 2008, 39(2): 299-303.
- [15] 张华勇, 尹睿, 黄锦法, 等. 稻麦轮作田改为菜地后生化指标的变化[J]. 土壤, 2005, 37(2): 182-186.
- [16] 李腾. 不同有机物料对潮土团粒结构形成和生物学特性变化的影响[D]. 郑州: 河南农业大学, 2014.
- [17] 宋震震, 李絮花, 李娟, 等. 有机肥和化肥长期施用对土壤活性有机氮组分及酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(3): 525-533.
- [18] 罗兴录, 岑忠用, 谢和霞, 等. 生物有机肥对土壤理化、生物性状和木薯生长的影响[J]. 西北农业学报, 2008, 17(1): 167-173.
- [19] 韩上, 武际, 张祥明, 等. 增施有机肥对稻田亚耕层土壤的培肥效应[J]. 农业资源与环境学报, 2018, 35(4): 334-341.
- [20] 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.
- [21] 王丽妍, 杨成林, 徐惠风. 氮肥运筹对寒地水稻生长及产量的影响[J]. 东北农业科学, 2017, 42(5): 15-19.
- [22] 刘文, 谭美, 江涛, 等. 不同缓释氮肥对水稻产量及氮肥利用率的影响[J]. 湖南农业科学, 2019(11): 52-54, 58.