

DOI: 10.19462/j.cnki.zgzy.20250423004

# 湖南省高标准农田培肥对土壤肥力和水稻产量的影响

王 伟<sup>1</sup> 王少希<sup>1</sup> 罗冬生<sup>1</sup> 任正伟<sup>1</sup> 张达威<sup>1</sup> 钱艳杰<sup>1</sup> 熊 展<sup>2</sup> 胡明勇<sup>1</sup>( <sup>1</sup>湖南省长沙市农业技术推广中心,长沙 410016; <sup>2</sup>湖南省长沙县农业农村局,长沙 410100 )

**摘要:** 为了促进湖南省新建高标准农田土壤肥力提升、作物高效施肥与水稻产量提高,在湖南省长沙市新建高标准农田开展田间试验,设置不施肥(T1,CK)、常规施肥(T2)、常规施肥+亩施250kg商品有机肥(T3)、常规施肥+亩施500kg商品有机肥(T4)、常规施肥+亩施750kg商品有机肥(T5)共计5个处理,利用相关性分析、随机森林模型与回归拟合分析等方法,分析各处理的土壤肥力、籽粒元素、水稻产量及产量构成因素的变化。结果表明:不同土壤培肥方式对湖南省新建高标准农田土壤有机质、全氮、碱解氮、有效磷、速效钾含量的影响较大,其中商品有机肥施肥处理的土壤全氮与速效钾含量较T1处理分别增加7.41%~20.16%和74.39%~87.20%,较T2处理分别增加6.53%~19.18%和67.25%~79.53%。不同施肥处理间水稻籽粒氮含量较籽粒磷、钾含量差异更显著,T5处理籽粒氮含量显著高于T1、T2与T4处理;不同处理水稻产量呈现T4/T5>T3>T2>T1的显著趋势,其中T4处理水稻产量较T5处理提高8.60%。随机森林模型显示,穗长、有机肥施用量与株高对水稻产量的影响较大;回归拟合分析发现,有机肥施用量处理对水稻产量的影响呈单峰曲线关系,推荐最佳有机肥施用量为9180.00kg/hm<sup>2</sup>,此时可获得最高产量9568.52kg/hm<sup>2</sup>。因此,为推动湖南省新建高标准农田的土壤培肥进程,有机肥施用量建议以9180.00kg/hm<sup>2</sup>为宜。

**关键词:** 水稻;有机肥施用量;土壤肥力;产量;高标准农田;湖南

## Effects of High Standard Farmland Fertilization on Soil Fertility and Rice Yield in Hunan Province

WANG Wei<sup>1</sup>, WANG Shaoxi<sup>1</sup>, LUO Dongsheng<sup>1</sup>, REN Zhengwei<sup>1</sup>, ZHANG Dawei<sup>1</sup>, QIAN Yanjie<sup>1</sup>, XIONG Zhan<sup>2</sup>, HU Mingyong<sup>1</sup>( <sup>1</sup>Changsha Agricultural Technology Extension Center, Changsha 410016;<sup>2</sup>Changsha County Bureau of Agriculture and Rural Affairs, Changsha 410100 )

为应对耕地后备资源不足,缓解社会经济发展与耕地保护的矛盾,习近平总书记提出在2023–2030年期间我国将新建高标准农田2亿亩,并改造提升2.8亿亩农田<sup>[1–2]</sup>。湖南省坚决贯彻落实习近平总书记重要指示精神,开展田块整治、土壤改良、灌溉排水、田间道路等建设,大力推进高标准农田建设<sup>[3]</sup>。长沙市作为湖南重要的粮食生产区<sup>[4]</sup>,2019年高标准农田建设职能整合至农业农村部门后至今

已新建高标准农田5.54万hm<sup>2</sup>(83.14万亩),改造提升1.28万hm<sup>2</sup>(19.13万亩)。其中,高标准农田建设的首要任务是提高耕地质量,提升土壤肥力。土壤肥力是衡量土壤能够提供作物生长所需各种养分的能力<sup>[1]</sup>。多年来,大量研究认为土壤肥力仍是制约水稻生长与发育的重要因素<sup>[5–6]</sup>。因此,需要采用长期有效的措施进行土壤改良,推进新建高标准农田的建设,促进稻田土壤肥力提升。

有机肥含有丰富的有机质,能够改善土壤结构并增强土壤生物活性,既促进作物根系吸收养分<sup>[7]</sup>,还能降低化肥的使用,为种植户节省生产成本<sup>[4]</sup>。

基金项目:2024年化肥减量与农作物新品种新技术试验示范资金(长财农指[2024]135号)

通信作者:胡明勇,王少希

研究发现,新建高标准农田、新垦农田施用商品有机肥等有机类调理剂可明显改善土壤速效养分含量,增加土壤有机碳含量,提升水稻产量<sup>[8-9]</sup>。但是,稻田过量施用有机肥会降低水稻产量<sup>[10]</sup>,还容易造成养分流失和环境污染<sup>[11]</sup>。本研究在湖南省长沙市新建高标准农田示范区开展田间肥效试验,结合相关性分析、随机森林模型与回归拟合分析方法,探究土壤培肥与有机肥施用量对湖南省新建高标准农田土壤肥力和水稻产量的影响,以期得出适宜的有机肥施用量,为湖南省新建高标准农田土壤肥力提升、作物高效施肥与水稻产量提升提供参考。

## 1 材料与方法

**1.1 试验区概况** 试验于2024年在长沙县春华镇大鱼塘村(28°15'51"N,113°14'49"E)进行,该区域为湖南省长沙市平坦、整齐、有代表性的新建成的高标准农田,集中连片,土地进行了大面积整平,排灌方便。试验地具有春季低温多雨、夏季高温光强、秋季温和少雨、冬季冷湿的特点,年平均气温为17.2℃,年平均无霜期为297d,年平均日照总时数为1600h,年平均降雨量为1361mm。冬季盛行偏北风,夏季盛行偏南风。

供试土地为第四纪红壤发育的红紫泥田,耕层(0~20cm)土壤pH值5.58,有机质含量14.80g/kg,全氮含量0.81g/kg,全磷含量0.32g/kg,全钾含量11.60g/kg,碱解氮含量40.12mg/kg,有效磷含量3.88mg/kg,速效钾含量49.00mg/kg。

**1.2 试验设计** 试验共设5个施肥处理:不施肥(T1,CK)、常规施肥(T2,当地农户常规施肥习惯)、常规施肥+亩施250kg商品有机肥(T3)、常规施肥+亩施500kg商品有机肥(T4)、常规施肥+亩施750kg商品有机肥(T5)。小区面积40m<sup>2</sup>(5m×8m),3次重复,共计15个小区,随机区组排列。不同小区采用土埂用塑料膜包裹的方式隔离,田埂高出地面40cm,采取单排单灌,防止小区间串水串肥;其他栽培管理措施与当地习惯一致,晚稻收获后秸秆粉碎直接还田,种植冬季绿肥(紫云英2kg/667m<sup>2</sup>)。

供试水稻品种桃香优188为当地大面积种植品种;供试化肥为复合肥(N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=20-8-12)、尿素(N含量46%)、氯化钾(K<sub>2</sub>O含量60%);供试有机肥为当地市场购买的普通商品有机肥(pH值7.2,有机质含量34.13%,N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=2.24-1.55-2.74),

各小区施肥情况见表1。水稻播种时间为2024年6月18日,移栽时间为7月20日,8月27日施穗肥,10月30日收获。

表1 不同处理施肥方法 (kg/667m<sup>2</sup>)

处理	复合肥	尿素	氯化钾	商品有机肥
T1 (CK)	0	0	0	0
T2	40	5	5	0
T3	40	5	5	250
T4	40	5	5	500
T5	40	5	5	750

**1.3 样品采集与分析** 成熟期各小区单收,按实收株数计产。每小区采集3蔸水稻在实验室调查其株高、穗长、有效穗数、每穗粒数、每穗实粒数、结实率和千粒重,同时将水稻籽粒与土壤样品烘干、磨碎、过筛,放入自封袋中保存待测。

参照鲍士旦<sup>[12]</sup>的方法测定稻田土壤肥力指标(土壤pH值、有机质含量、全氮含量、全磷含量、全钾含量、碱解氮含量、有效磷含量、速效钾含量);籽粒样品用H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>消煮,凯氏定氮法测定籽粒氮含量,钒钼黄比色法测定籽粒磷含量,火焰光度计法测定籽粒钾含量。

**1.4 随机森林模型** 随机森林模型通过构建多个决策树并将其预测结果结合起来,以提高预测的准确性和稳定性<sup>[13-14]</sup>,采用均方误差增加量评价影响因素重要性,以揭示主要的预测变量。因此,本研究采用随机森林模型计算所有影响因素(常规施肥量、有机肥施用量、土壤肥力指标、籽粒元素含量、株高与产量构成因子)对水稻产量的解释强度,揭示影响研究区水稻产量的主要因子。

**1.5 数据统计与分析** 利用SPSS 25、Excel 2019、RStudio 4.2.0和Origin 2018软件进行数据统计分析与作图。采用最小显著差异法(LSD)进行处理间差异显著性分析,利用RStudio中的“randomForest”包运行随机森林模型以计算各影响因素对水稻产量的解释强度,有机肥施用量与水稻产量的回归模型分析使用Origin 2018进行。

## 2 结果与分析

**2.1 不同施肥处理对新建高标准农田土壤肥力的影响** 不同施肥处理对长沙市新建高标准农田土壤肥力的影响见图1。所有处理土壤pH值的范围

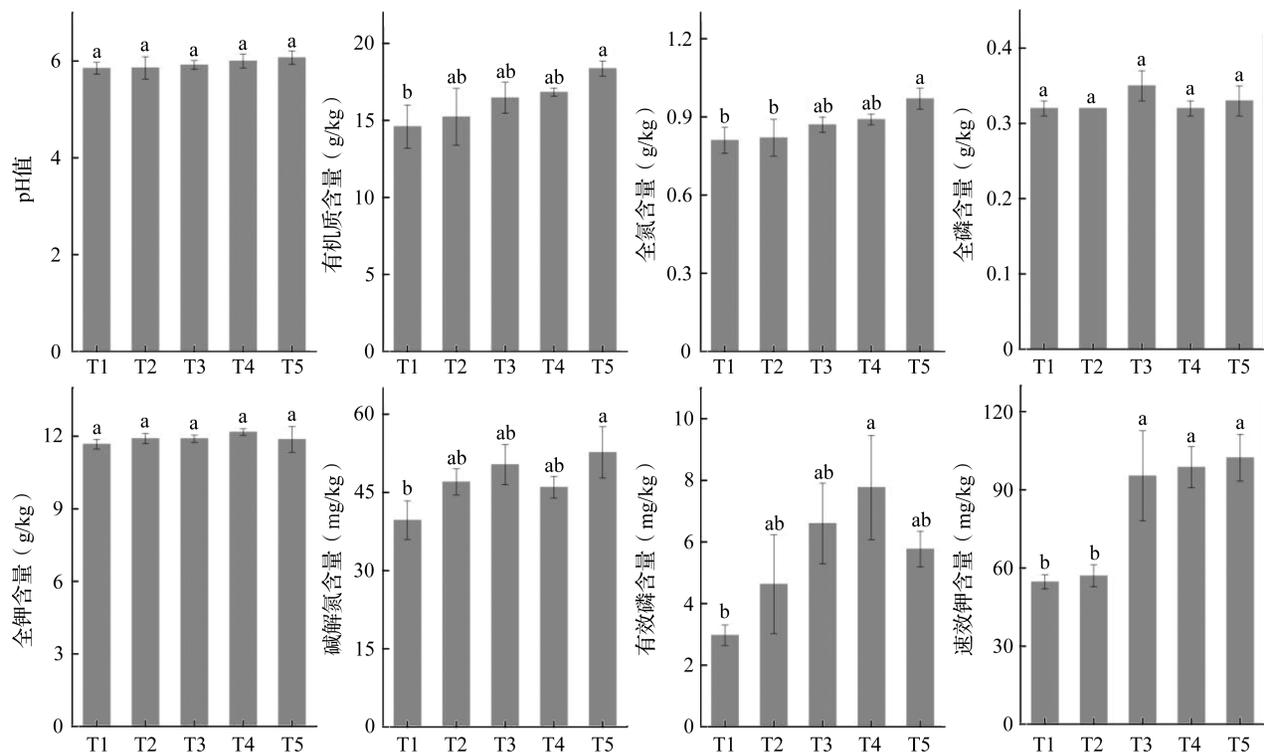
为 5.85~6.07, 皆呈弱酸性, 全磷含量在 0.32~0.35g/kg 之间, 全钾含量在 11.67~12.17g/kg 之间, 这 3 个指标在处理间均无显著差异; 总体来说, 施肥处理与 T1 处理相比, 土壤 pH 值、全磷与全钾含量分别提高了 0.17%~3.82%、1.04%~8.33% 和 1.71%~4.29%; 商品有机肥施肥处理与 T2 处理相比, 土壤 pH 值与全磷含量分别提高了 1.02%~3.64% 和 0.52%~7.22%。土壤有机质含量呈现 T5 处理 > T4 处理 > T3 处理 > T2 处理 > T1 处理的趋势, T5 处理显著高于 T1 处理, 其余处理间差异不显著; 施肥处理较 T1 处理有机质含量提高了 4.34%~25.80%, 商品有机肥施肥处理较 T2 处理提高了 8.10%~20.57%。土壤全氮含量也呈现 T5 处理 > T4 处理 > T3 处理 > T2 处理 > T1 处理的趋势, T5 处理显著高于 T1 处理和 T2 处理, 其余处理间差异不显著; 施肥处理较 T1 处理全氮含量提高了 0.82%~20.16%, 商品有机肥施肥处理较 T2 处理提高了 6.53%~19.18%。

土壤碱解氮含量呈现 T5 处理 > T3 处理 > T2 处理 > T4 处理 > T1 处理的趋势, T5 处理显著高于 T1 处理, 其余处理间差异不显著; 施肥处理较 T1 处理碱解氮含量提高了 15.97%~32.77%, T3 处理与 T5 处理较 T2 处理分别提高了 7.09% 和 12.06%。土

壤有效磷含量呈现 T4 处理 > T3 处理 > T5 处理 > T2 处理 > T1 处理的趋势, T4 处理显著高于 T1 处理, 其余处理间差异不显著; 施肥处理较 T1 处理有效磷含量提高了 56.18%~161.80%, 商品有机肥施肥处理较 T2 处理提高了 24.46%~67.63%。土壤速效钾含量呈现 T5 处理 > T4 处理 > T3 处理 > T2 处理 > T1 处理的趋势, T1 处理与 T2 处理间差异不显著, T3 处理、T4 处理、T5 处理间差异不显著, 但 T3~T5 处理均显著高于 T1 处理与 T2 处理; 施肥处理较 T1 处理速效钾含量提高了 4.27%~87.20%, 商品有机肥施肥处理较 T2 处理提高了 67.25%~79.53%。

以上结果表明, 不同土壤培肥方式对新建高标准农田土壤有机质含量、全氮含量、碱解氮含量、有效磷含量、速效钾含量的影响更大, 对土壤 pH 值、全磷含量、全钾含量影响较小, 商品有机肥施肥处理对土壤全氮含量与速效钾含量的影响更大。

**2.2 不同施肥处理对新建高标准农田水稻籽粒氮、磷、钾含量的影响** 如图 2 所示, 不同施肥处理下, 长沙市新建高标准农田水稻籽粒氮含量较籽粒磷、钾含量差异更明显。籽粒氮含量呈现 T5 处理 > T3 处理 > T4 处理 > T2 处理 > T1 处理的趋势, T5 处理显著高于 T1 处理、T2 处理与 T4 处理, 但 T1 处理、



不同小写字母表示在 0.05 水平上存在显著差异, 下同

图 1 不同施肥处理土壤理化性质的变化

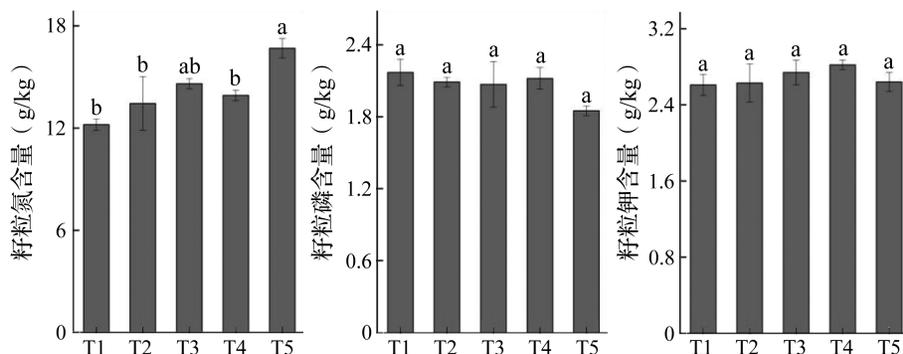


图2 不同施肥处理籽粒氮、磷、钾含量的变化

T2处理与T4处理间差异不显著;施肥处理较T1处理籽粒氮含量提高了10.13%~36.69%,商品有机肥施肥处理较T2处理提高了3.54%~24.12%。不同处理间籽粒磷、钾含量均无显著差异,其中施肥处理较T1处理籽粒钾含量提高了0.77%~5.11%,商品有机肥施肥处理较T2处理提高了0.51%~7.22%。以上结果表明,不同土壤培肥方式对新建高标准农田籽粒氮含量的影响更大,对籽粒磷、钾含量的影响较小。

**2.3 不同施肥处理对新建高标准农田水稻产量性状的影响** 不同施肥处理对新建高标准农田水稻株高、产量及产量构成因素的影响见表2。所有施肥处理的水稻株高、穗长、有效穗数、结实率、千粒重、产量分别较T1处理增加18.11%~27.18%、4.70%~8.20%、26.38%~42.86%、3.97~8.45个百分点、4.26%~12.39%、39.52%~69.27%;商品有机肥施肥处理每穗粒数与每穗实粒数较T1处理分别提高了2.57%~7.13%和10.36%~20.40%,商品有机肥施肥处理的水稻株高、穗长、每穗粒数、每穗实粒数与产量较T2处理分别增加了0.59%~7.67%、1.79%~3.34%、10.39%~15.30%、10.48%~20.53%、12.07%~21.32%。

各处理水稻株高、产量均表现为T4处理>T5处理>T3处理>T2处理>T1处理,T2处理与T3处理株高显著高于T1处理,且显著低于T4处理,T5

处理显著高于T1处理;T4处理产量与T5处理之间差异不显著,但显著高于其余处理,T1~T3处理间差异显著。穗长表现为T5处理>T4处理>T3处理>T2处理>T1处理,T2处理显著高于T1处理,且显著低于T4处理与T5处理,T3处理也显著高于T1处理。有效穗数与结实率均表现为T4处理>T5处理>T2处理>T3处理>T1处理,T2~T5处理间有效穗数差异不显著,但均显著高于T1处理;T2处理、T4处理、T5处理结实率显著高于T1处理,T3处理显著低于T4处理。每穗粒数表现为T4处理>T3处理>T5处理>T1处理>T2处理,T3与T4处理显著高于T2处理;每穗实粒数表现为T4处理>T5处理>T3处理>T1处理>T2处理,T4处理显著高于T1处理与T2处理;千粒重表现为T3处理>T4处理>T2处理>T5处理>T1处理,T2~T4处理显著高于T1处理,T3处理显著高于T2处理与T5处理。

**2.4 不同施肥处理土壤肥力指标与水稻性状的相关性** 如表3所示,新建高标准农田土壤pH值、全氮含量、全磷含量、全钾含量与籽粒元素含量和产量性状无显著相关关系。土壤有机质含量与有效穗数呈显著正相关;碱解氮含量与穗长、产量呈显著正相关,与籽粒磷含量呈显著负相关;有效磷含量则与株高、每穗实粒数呈极显著正相关,与穗长、有效穗数、每穗粒数、结实率、产量呈显著正相关;速效钾含量

表2 不同施肥处理水稻株高、产量及产量构成因素

处理	株高(cm)	穗长(cm)	有效穗数 (万穗/667m <sup>2</sup> )	每穗粒数	每穗实粒数	结实率(%)	千粒重(g)	产量 (kg/hm <sup>2</sup> )	产量增幅 (%)
T1 (CK)	95.67 ± 2.03c	25.13 ± 0.03c	20.22 ± 2.34b	163.73 ± 3.58ab	127.47 ± 1.77b	77.88 ± 0.73c	23.01 ± 0.03c	5675.76 ± 3.80d	-
T2	113.00 ± 1.15b	26.31 ± 0.13b	26.44 ± 3.01a	152.13 ± 2.32b	127.33 ± 3.69b	83.67 ± 1.27ab	24.59 ± 0.32b	7918.58 ± 7.27c	39.52
T3	113.67 ± 3.18b	26.78 ± 0.15ab	25.56 ± 2.04a	171.87 ± 6.10a	140.67 ± 4.86ab	81.85 ± 0.12bc	25.86 ± 0.57a	8874.33 ± 1.33b	56.36
T4	121.67 ± 2.19a	27.14 ± 0.26a	28.89 ± 3.15a	175.40 ± 8.21a	153.47 ± 12.39a	87.22 ± 3.11a	24.80 ± 0.47ab	9607.18 ± 8.82a	69.27
T5	117.33 ± 2.40ab	27.19 ± 0.15a	28.00 ± 2.67a	167.93 ± 8.21ab	144.87 ± 6.05ab	86.33 ± 0.96ab	23.99 ± 0.21bc	9295.72 ± 8.52a	63.78

表3 不同施肥处理土壤肥力指标与水稻性状的相关性

指标	pH 值	有机质含量	全氮含量	全磷含量	全钾含量	碱解氮含量	有效磷含量	速效钾含量
籽粒氮含量	0.011	0.144	0.204	0.328	0.254	0.321	0.021	0.531*
籽粒磷含量	0.017	-0.248	-0.270	0.221	-0.220	-0.584*	0.222	-0.324
籽粒钾含量	0.211	0.415	0.302	-0.466	0.400	0.337	0.511	0.043
株高	0.267	0.441	0.416	0.267	0.284	0.345	0.672**	0.562*
穗长	0.242	0.504	0.467	0.275	0.378	0.523*	0.525*	0.773**
有效穗数	0.372	0.621*	0.493	0.226	0.358	0.383	0.590*	0.502
每穗粒数	0.133	0.098	0.040	-0.019	0.337	-0.003	0.539*	0.398
每穗实粒数	0.312	0.214	0.154	-0.041	0.460	0.082	0.661**	0.485
结实率	0.437	0.286	0.255	-0.018	0.433	0.178	0.533*	0.425
千粒重	-0.078	0.070	0.032	0.487	0.206	0.271	0.394	0.406
产量	0.264	0.512	0.490	0.219	0.358	0.530*	0.594*	0.736**

\*,\*\* 分别表示在 0.05、0.01 水平上存在显著、极显著相关性,下同

与穗长、产量呈极显著正相关,与籽粒氮含量、株高呈显著正相关。

**2.5 新建高标准农田水稻产量及其影响因素的随机森林模型分析** 使用随机森林模型分析计算本研究所有影响因素(常规施肥量、有机肥施用量、土壤肥力指标、籽粒元素含量、株高与产量构成因子)对水稻产量的解释强度,均方误差(MSE)增加量越高代表该变量对水稻产量的影响越大(图3)。结果表明,所有因子中穗长、有机肥施用量、株高、结实率、千粒重、常规施肥量、速效钾共7个指标对新建高标准农田的水稻产量有显著影响,相对贡献率占比达66.53%。同时,影响水稻产量的因子重要性排序为穗长>有机肥施用量>株高>结实率>千粒重>常规施肥量>速效钾,说明穗长、有机肥施用量、株高对水稻产量的影响较大。

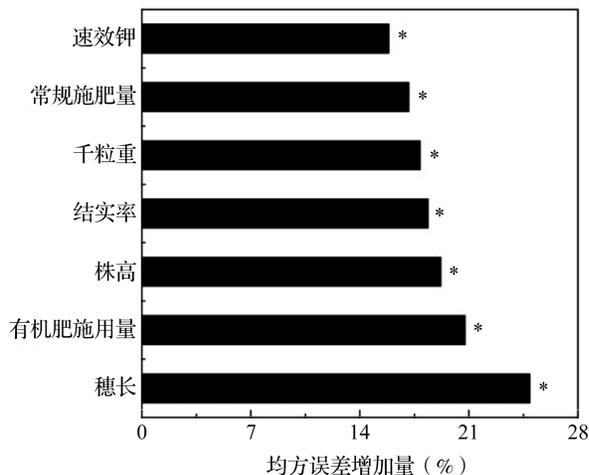


图3 随机森林模型分析水稻产量的主要预测因子

**2.6 新建高标准农田有机肥施用量与水稻产量的回归模型分析** 新建高标准农田土壤培肥中有机肥施用量处理对水稻产量的影响呈单峰曲线关系(图4)。结果显示,随着有机肥施用量的增加,水稻产量逐渐增加,达到峰值后有机肥进一步增加水稻产量反而降低。以有机肥施用量为自变量,水稻产量为因变量,进行回归模型分析,确定回归方程: $y = -0.00002x^2 + 0.3672x + 7883.0706$  ( $R^2 = 0.9376$ ,  $P < 0.05$ )。式中  $y$  为水稻产量( $\text{kg}/\text{hm}^2$ ),  $x$  为有机肥施用量( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )。由此可知,新建高标准农田有机肥最佳施用量为  $9180.00\text{kg}/\text{hm}^2$ ,水稻最高产量为  $9568.52\text{kg}/\text{hm}^2$ 。

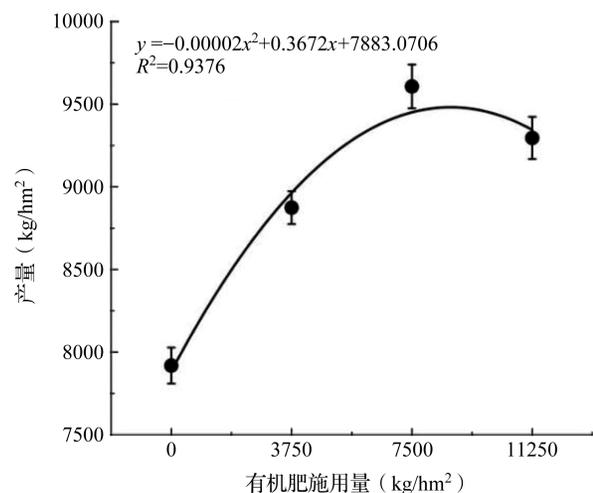


图4 不同有机肥施用量与水稻产量的回归拟合

### 3 讨论与结论

以“科技增粮、增产提质”为主攻点,长沙近年来启动了高标准、高技术、高产量、高品质的“四高”

试验示范区建设<sup>[15]</sup>。土壤肥力是影响水稻高产的重要因素,施用有机肥是提高水稻产量与改善品质的重要措施<sup>[16]</sup>。徐洁章等<sup>[17]</sup>研究发现,连续13年土壤外源有机物料添加处理模式能显著提高土壤有机质、有机碳、全氮、碱解氮、有效磷与速效钾含量。本研究发现,湖南省新建高标准农田有机肥施用量处理较对照提高了土壤pH值、有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、有效磷与速效钾含量,并且除土壤pH值、全磷、全钾外,其余指标均达显著水平;土壤pH值、有机质、全氮、全磷、有效磷与速效钾含量较常规施肥处理有所提高,其中高量商品有机肥处理(T5处理)土壤全氮与速效钾含量分别增加19.18%和79.53%,中量商品有机肥处理(T4处理)土壤有效磷含量增加67.63%,说明施用商品有机肥促进了土壤肥力增质提升,可推动湖南省新建高标准农田的建设。以上结果与沈菁等<sup>[8]</sup>的研究结果一致,表明土壤肥力会极大程度受到外源有机质培肥的影响。

大量研究表明,施用有机肥可提高水稻植株的氮、磷、钾含量,改良水稻生育期营养状况<sup>[18-19]</sup>。本研究发现,在湖南省新建高标准农田施用商品有机肥,籽粒氮含量较对照与常规施肥处理可分别提高10.13%~36.69%和3.54%~24.12%,且高量商品有机肥处理可显著增加籽粒氮含量,可能是由于施用有机肥提高了土壤速效养分水平并改善了土壤肥力状况<sup>[20]</sup>。氮、磷、钾为水稻生长与发育的必需三元素,氮素对水稻产量构成影响最大,主要影响穗数和每穗粒数<sup>[21]</sup>;磷素对提高水稻分蘖数、结实率和千粒重有重要作用<sup>[22]</sup>;钾素促进碳水化合物的合成与运输,对每穗小穗数和结实率有明显的正效应<sup>[23]</sup>。与对照相比,所有施肥处理均显著提高了水稻株高、穗长和有效穗数,中量与高量、低量与中量有机肥处理分别显著提高了结实率与千粒重;中量有机肥处理较常规施肥处理显著提高了水稻株高、穗长和每穗实粒数。研究表明,提高水稻的穗粒数和结实率形成大穗粒结构能促进水稻高产<sup>[24]</sup>。本研究结果显示,穗粒数与结实率更高的有机肥施用处理水稻产量显著高于对照与常规施肥处理,中量与高量有机肥处理水稻产量也显著高于低量有机肥处理,但高量有机肥处理产量低于中量有机肥处理。同时,也有研究发现有机肥施用量过高会造成水稻穗实粒数降低,产量下降<sup>[10,25]</sup>。这与本文研究结果类

似,高量有机肥处理较中量有机肥处理水稻每穗实粒数、结实率与千粒重分别降低了5.60%、1.02%和3.27%,这可能是中量有机肥处理产量更高的原因。因此,实际生产中需要合理确定有机肥施用量以促进水稻产量提升,推动生产成本效率最大化。

有机肥含有较丰富的有机物和营养元素,增施有机肥可以改善土壤理化性质,进而显著提高水稻的产量<sup>[26-27]</sup>。相关性分析结果表明,水稻产量及构成因素与部分土壤速效养分含量有显著相关性,有机肥施肥处理明显增加了土壤速效养分。随机森林分析通过构建多个决策树并将预测结果进行集成,可以提高模型的预测准确性和泛化能力<sup>[13]</sup>。Garnaik等<sup>[28]</sup>采用随机森林模型分析揭示了土壤质量对水稻生产力的影响。本研究为了评估湖南省新建高标准农田中影响水稻产量的主要控制因子,采用随机森林分析所有影响因素对水稻产量的解释强度,结果发现有机肥施用量与穗长是影响水稻产量的最重要指标。进一步对有机肥施用量与水稻产量进行回归拟合,发现当前试验条件下最佳有机肥施用量为9180.00kg/hm<sup>2</sup>,水稻最高产量为9568.52kg/hm<sup>2</sup>。以上结果可为促进湖南省高标准农田的建立提供参考。

#### 参考文献

- [1] 李建平,张新宇,吴海霞,肖琴,李俊杰.高标准农田建设投资规模测算及投融资发展趋势.中国农业综合开发,2023(10):16-20
- [2] 农业农村部农田建设管理司.农业农村部关于印发《全国高标准农田建设规划(2021-2030年)》的通知.(2021-09-16)[2025-04-23].  
[http://www.ntjss.moa.gov.cn/zcfb/202109/t20210915\\_6376511.htm](http://www.ntjss.moa.gov.cn/zcfb/202109/t20210915_6376511.htm)
- [3] 湖南省农业农村厅.湖南省将完成460万亩高标准农田建设任务.中国农业综合开发,2022(3):25
- [4] Jouzi Z, Azadi H, Taheri F, Zarafshani K, Gebrehiwot K, Van P S, Lebailly P. Organic farming and small-scale farmers: Main opportunities and challenges. Ecological Economics, 2017, 132: 144-154
- [5] 刘琼峰,刘锋,谷雨,陈鸽,周峻宇,吴海勇,冯延召.湖南典型水稻土施用有机肥比例对水稻产量及氮素吸收利用的影响.农业现代化研究,2025,46(1):165-173
- [6] 胡明勇,任正伟,王伟,王少希,杨鳌,冯秋分,文丽.长沙水稻主产区土壤肥力现状评价.湖南农业科学,2024(2):47-52
- [7] 李龙辉,周伟,张甲,晏承兴,卿明敬,李承端,周静.生物有机肥对水稻及再生稻产量和品质的影响研究.中国种业,2023(12):116-121,125
- [8] 沈菁,张莉,赵洪阳,沈量,周政法,王未英.浙江省新垦耕地土壤培肥和覆膜节水栽培对土壤肥力和水稻产量的影响.中国稻米,

2024, 30 (4):81-85

- [9] 荀西凡. 安徽泾县高标准农田耕地质量存在的问题与对策. 中国农业综合开发, 2022 (5):44-46
- [10] 潘雅婷, 徐灿, 张敏, 马文礼. 奶牛粪污-芦苇有机肥施用量对水稻产量及品质的影响. 现代农业科技, 2024 (21):15-18
- [11] 刘汝亮, 李友宏, 王芳, 赵天成, 陈晨, 洪瑜. 宁夏引黄灌区水稻有机肥适宜用量研究. 宁夏农林科技, 2016, 57 (7):1-2
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析(3版). 北京: 中国农业出版社, 2000
- [13] 宁驰, 周雨舟, 黄志先, 徐章倩, 周卫军, 刘瑞, 高贵铎. 临澧县稻田土壤硒、水稻硒空间分布及其影响因素. 长江流域资源与环境, 2025, 34 (1):155-165
- [14] Cutler A, Cutler D R, Stevens J R. Random forests. Ensemble Machine Learning, 2012: 157-175
- [15] 王少希, 罗冬生, 钱艳杰, 李诚, 胡明勇, 刘苏, 易展平, 姚艳红, 王冲勇. 长沙市粮食生产“四高”技术集成与示范. 湖南农业科学, 2024 (9):34-40, 48
- [16] 陈惠英, 王峰, 王强, 俞巧钢, 叶静, 林辉, 孙万春, 杨艳, 马军伟. 新垦耕地土壤肥力提升路径探析——以浙江省为例. 中国农学通报, 2023, 39 (18):75-80
- [17] 徐洁章, 韩科峰, 吴良欢. 长期外源有机物料添加对双季稻产量、土壤肥力及土壤质量的影响. 中国农业大学学报, 2024, 29 (12):23-32
- [18] 吴中原, 江鑫鑫, 方俊超, 李孝良. 沿淮稻麦轮作区有机肥部分替代化肥对水稻产量、养分利用率的影响. 安徽科技学院学报, 2023, 37 (5):32-39
- [19] Moe K, Htwe A Z, Thu T P, Kajihara Y, Yamakawa T. Effects on NPK status, growth, dry matter and yield of rice (*Oryza sativa*) by organic fertilizers applied in field condition. Agriculture, 2019, 9 (5):109
- [20] Muhammad Q, Huang J, Waqas A, Li D C, Liu S J, Zhang L, An D C, Liu L S, Xu Y M, Gao J S, Zhang H M. Yield sustainability, soil

organic carbon sequestration and nutrients balance under long-term combined application of manure and inorganic fertilizers in acidic paddy soil. Soil and Tillage Research, 2020, 198:104569

- [21] 伏桐, 唐东南, 舒小伟, 徐杰姣, 王树深, 王子涵, 丁周宇, 杨英, 周娟, 姚友礼, 黄建晔, 董桂春. 氮肥运筹处理对机插水稻产量及氮素吸收利用的影响. 安徽农业大学学报, 2024, 51 (5):749-758
- [22] Ma J Y, Chen T T, Lin J, Fu W M, Feng B H, Li G Y, Li H B, Li J C, Wu Z H, Tao L X, Fu G F. Functions of nitrogen, phosphorus and potassium in energy status and their influences on rice growth and development. Rice Science, 2022, 29 (2):166-178
- [23] 李友发, 富昊伟, 马兴华, 张馨月. 施钾对抽穗扬花期自然高温下水稻结实率的影响. 浙江农业科学, 2022, 63 (1):39-41
- [24] 孔丽丽, 尹彩侠, 侯云鹏, 张磊, 赵胤凯, 刘志全, 徐新朋. 松嫩平原水稻高产高效氮肥运筹模式研究. 植物营养与肥料学报, 2023, 29 (8):1435-1448
- [25] 陈琨, 曾祥忠, 喻华, 刘灏, 李光萍, 徐麟, 秦鱼生. 有机肥施用量对冬水稻田水稻生长和土壤有机质的影响. 亚热带农业研究, 2019, 15 (4):223-228
- [26] Liu J A, Shu A P, Song W F, Shi W C, Li M C, Zhang W X, Li Z Z, Liu G R, Yuan F S, Zhang S X, Liu Z B, Gao Z. Long-term organic fertilizer substitution increases rice yield by improving soil properties and regulating soil bacteria. Geoderma, 2021, 404:115287
- [27] 钟日生, 柳武革, 刘伯全, 陈彩霞, 吴建发, 袁沛森, 冯大良, 蔡柳文, 刘良成. 优质杂交晚粳新组合协禾优1002的选育及高产制种技术. 中国种业, 2024 (8):116-118, 121
- [28] Garnaik S, Samant P K, Mandal M, Mohanty T R, Dwivedi S K, Patra R K, Mohapatra K K, Wanjarri R H, Sethi D, Sena D R, Sapkota T B. Untangling the effect of soil quality on rice productivity under a 16-years long-term fertilizer experiment using conditional random forest. Computers and Electronics in Agriculture, 2022, 197:106965

(收稿日期:2025-04-23)

(上接第143页)

现新增一季作物产出, 不仅能为该区草畜产业发展提供优质饲草, 更能提高资源利用效率<sup>[9]</sup>, 机械化收获后不影响后茬冬小麦种植, 实现一年两熟, 且产值高、经济效益好, 可作为增粮增效复种模式。冬油菜—玉米—冬闲复种模式下, 复种作物产量高、效益好, 可作为轮作倒茬模式推广。

#### 参考文献

- [1] 刘海卿, 孙万仓, 刘自刚, 侯献飞, 钱武, 马骊, 刘林波, 王凯音. 白菜型冬油菜在北方不同生态区的生育期变化及复种潜力分析. 干旱地区农业研究, 2016, 34 (2):190-200
- [2] 野宏巍. 陇东地区玉米生产状况分析与发展对策. 杂粮作物, 2002, 22 (1):23-27
- [3] 惠文, 李飞, 杨植, 张秀珍. 冬油菜茬后复种青贮玉米品种比较. 草

业科学, 2012, 29 (9):1482-1485

- [4] 耿智广, 宋亚丽, 李可夫, 张文伟, 李峰. 庆阳南部冬油菜复种玉米品种筛选试验. 陕西农业科学, 2020, 66 (2):67-69
- [5] 李卫, 薛彩霞, 姚顺波, 朱瑞祥. 保护性耕作技术、种植制度与土地生产率——来自黄土高原农户的证据. 资源科学, 2017, 39 (7):1259-1271
- [6] 李广浩, 刘娟, 董树亭, 刘鹏, 张吉旺, 赵斌, 石德杨. 密植与氮肥用量对不同耐密型夏玉米品种产量及氮素利用效率的影响. 中国农业科学, 2017, 50 (12):2247-2258
- [7] 李成, 张晓娟, 何荣花, 毛香全, 杨丽萍, 米微. 洱源县青贮玉米品种筛选试验. 云南畜牧兽医, 2025 (1):1-5
- [8] 雷康宁, 牛俊义, 孙小花. 陇东旱塬油菜茬复种不同玉米品种的光合生理特性及产量的比较. 甘肃农业大学学报, 2016, 51 (1):49-54
- [9] 邓建强. 陇东旱塬饲用油菜和箭筈豌豆与粮食作物轮作系统资源利用研究. 兰州: 兰州大学, 2021

(收稿日期:2025-04-14)