



有机肥替代部分化肥对油菜产量和品质、肥料利用率及土壤性质的影响

黄星瑜¹, 朱安繁^{1*}, 姚锋先², 陈金³, 张亚¹, 夏文建³, 吕真真³, 张丽芳³, 汪咏¹

(1. 江西省农业技术推广中心, 江西 南昌 330046; 2. 赣南师范大学生命科学学院, 江西 赣州 341000;
3. 江西省农业科学院土壤肥料与资源环境研究所, 江西 南昌 330200)

摘要: 揭示化肥减量与有机无机肥配施对油菜产量、品质和土壤养分的影响规律, 为油菜生产提质增效提供理论依据。以甘蓝型油菜“浙油 938”和“赣油杂 8 号”为试验材料, 设置对照不施肥 (CK)、常规施肥 (T1)、优化施肥 (T2)、有机肥替代 15% 化肥 (T3)、有机肥替代 30% 化肥 (T4) 5 个处理, 研究有机肥替代部分化肥对油菜产量及品质、肥料农学利用率和土壤理化性状的影响。结果表明, 相比于常规施肥和优化施肥, 施用有机肥能够显著提高油菜的产量和肥料农学利用率, 当有机肥替代率达到 30% 时, 油菜的增产率最高, 为 36.24% ~ 46.36%; 此时, 油菜的品质较高, 含油量和饱和脂肪酸含量分别为 38.6% 和 5.77%。此外, T4 处理能够提升土壤质量, 改良土壤结构, 活化有效养分, 进而提高土壤肥力, 碱解氮、有效磷和速效钾含量较常规施肥分别提高了 6.70% ~ 34.27%、9.25% ~ 17.00% 和 32.45% ~ 83.78%; 土壤 pH 值和阳离子交换量较常规施肥分别提高了 2.73% ~ 4.22% 和 12.65% ~ 55.33%, 土壤容重降低了 5.79% ~ 16.30%。化肥减量与有机肥配施能够提高油菜产量, 改善油菜品质, 且提升土壤养分含量。该试验条件下以有机肥替代 30% 化肥处理的效果最佳, 能够促进养分的循环利用, 兼顾油菜优质丰产和土壤良好理化特性。

关键词: 有机肥; 产量; 土壤理化性状; 品质; 油菜

油菜作为我国第一大油料作物, 每年可提供食用油约 520 万 t, 占国产植物油的 47%, 是重要的食用油源和饲用蛋白源^[1]。随着生活水平的提高和需油量的提升, 我国油料供需不平衡问题日渐突出, 进口的食用植物油比例高达 68%^[2]。植物食用油安全供给是保障粮食安全的重要前提, 油菜则是重点发展的油料作物, 是轮作换茬和培肥地力的理想作物^[3-4]。油菜产量和品质的同步提升是实现农业高质量发展的重要目标, 而科学施肥是提高油菜产量和品质的重要保证。

近年, 为了追求作物高产和经济效益, 化肥被过量施用, 土壤生态平衡被破坏, 出现了土壤

板结、环境污染、肥料利用率低和农作物质量下降等一系列问题^[5-6]。因此, 调整施肥结构对农业高质量发展有重要意义。科学施用有机肥能提高土壤孔隙度和保水保肥能力、改善土壤生态环境、促进根系对养分的吸收利用, 对作物的增产增效和土壤质量的提升具有重要影响^[7]。但有机肥的肥效较慢, 单施有机肥短期内无法满足作物对养分的大量需求, 而有机肥部分替代化肥不仅能满足作物生长的养分供应, 还可以培肥土壤、改良土壤生态环境, 符合国家倡导的绿色农业发展要求。

王逗等^[8]发现化肥有机肥的合理配施可以促进油菜根系对氨基酸的分泌, 提高地上部的生物量; 万辰等^[9]指出随着有机肥替代比例的增加, 洱海流域的油菜产量呈下降趋势, 与农民习惯施肥相比, 固体有机肥替代 30% 化肥既能维持油菜的产量, 又能改善土壤理化性质; 马肖等^[10]研究结果表明, 化肥减量 25% 配施有机肥 2250 kg/hm²能抵消化肥减施导致的油菜各发育时期营养吸收和积累的负效应, 获得与习惯施肥相当的产量, 而更

收稿日期: 2023-01-18; 录用日期: 2023-03-06

基金项目: 农业农村部绿色种养循环农业试点项目 (Z175070020001); 国家自然科学基金项目 (32060726)。

作者简介: 黄星瑜 (1997-), 硕士研究生, 研究方向为植物营养与土壤肥料。E-mail: 18379754046@163.com。

通讯作者: 朱安繁, E-mail: zhuanfan@qq.com。

高的有机肥施用量则可以提高油菜产量；张建学等^[11]发现，低替代比例的有机肥配施磷肥能够提高油菜的含油量和芥酸，油菜的产量及其构成要素也适当提高。

有机肥替代化肥在油菜上的相关研究较少，且多与常规施肥进行对比。本研究在常规施肥基础上进行化肥减量，制定优化施肥方案，根据优化施肥处理的施肥量进行有机肥替代部分化肥处理。以甘蓝型半冬性油菜作为研究对象，在氮、磷、钾总养分等量的前提下，通过设置有机肥不同替代化肥的比例，研究其对油菜的产量、品质和经济效益及土壤理化性质的影响，选出有机肥替代化肥合适的替代率，为指导油菜生产的科学施肥和养分管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2021年11月—2022年6月分别在在江西省定南县、丰城市和高安市开展，各试验点均为水田，属亚热带季风气候。定南试验点（24°47'23.2" N，115°2'4.4" E）年平均气温 19℃，年降水量 1550 mm，无霜期 296 d；丰城试验点（27°42'08" N，115°25'06" E）年平均气温为 16.5℃，年平均降水量 1552.1 mm，无霜期 274 d；高安试验点（28°25'12" N，115°22'12" E）年均降水量为 1560 mm，年平均气温 17.7℃，无霜期 276 d。试验地的种植制度为“稻—油”模式，0 ~ 20 cm 耕层土壤的基本理化性质见表 1。

表 1 试验前的土壤基础肥力

试验点	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	全磷 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	pH	阳离子交换量 (cmol/kg)	土壤容重 (g/cm ³)
定南	35.21	3.30	1.32	132.53	25.56	86.56	5.28	16.10	1.26
丰城	38.33	2.01	1.79	172.54	23.43	179.53	5.47	9.10	1.32
高安	26.80	1.58	1.99	121.20	21.40	185.02	4.93	10.91	1.37

1.2 试验材料

供试作物：油菜（*Brassica napus* L.），品种分别为浙油 938（定南试验点）、赣油杂 8 号（丰城试验点和高安试验点）。

供试肥料：复合肥（N：P₂O₅：K₂O=15：15：15）、尿素（N 46%）、钙镁磷肥（P₂O₅ 12%）、氯化钾（K₂O 60%）、硼砂（B 11%）、定南试验点有机肥（养分含量为 N 1.17%、P₂O₅ 1.77%、K₂O 0.96%，水分含量为 15.12%，有机质 42.91%，为猪粪与菌渣堆肥发酵腐熟而成）、丰城试验点有机肥（养分含量为 N 2.27%、P₂O₅ 4.23%、K₂O 2.93%，水分含量为 8.80%，有机质 47.22%，为鸡粪与菌渣堆肥发酵腐熟而成）、高安试验点有机肥（养分含量为 N 1.08%、P₂O₅ 1.96%、K₂O 1.02%，水分含量为 4.50%，有机质 35.03%，为牛粪与菌渣堆肥发酵腐熟而成）。

1.3 试验设计

田间试验采取随机区组设计，试验设置不施肥（CK）、常规施肥（T1）、优化施肥（T2）、有机肥替代 15% 化肥（T3）、有机肥替代 30% 化肥（T4）共计 5 个试验处理，T3 和 T4 处理的磷和钾总养分均与 T2 处理相同，每个处理重复 3 次，小区面积

为 20 m²。氮肥施用按基肥：越冬肥：薹肥 =6：2：2 分 3 次施用，其他肥料均一次性基施，基肥施入方式为撒施翻耕入土，二次追肥均用水溶解后进行浇灌。具体施肥情况如表 2 所示。

试验田块翻耕后开好围沟和小区间“十字形”沟，选用甘蓝型半冬性双低杂交油菜品种赣油杂 8 号和浙油 938，采用育苗移栽的方式在 9 月下旬播种育苗，育苗 6 周后选取有 4 ~ 5 片叶且大小均一的油菜幼苗移栽至试验田，移栽密度为每公顷 1.12 × 10⁵ 株，为防花而不实，每公顷基施硼砂 15 kg。试验小区设保护行，保护行内亦种植移栽油菜。在试验过程中，所有的田间管理，包括除草剂的使用和病虫害的防治等，均采用当地的栽培管理方法。

1.4 样品的采集与指标测定

1.4.1 土壤样品的采集与分析

土壤基础样品在前茬水稻收获后、油菜基肥施用前采集，施肥后的土壤样品于根系周围耕层采集混合土壤样品。以整个试验田块为采样单元，在试验田块内以“S”形均匀布点 15 个，采集 0 ~ 20 cm 耕作层土壤，土壤样品经混合、自然风干、研磨和过筛后进行土壤理化特性分析。土壤 pH 值采



用电位法测定；土壤全氮采用凯式蒸馏法测定；土壤全磷采用 $\text{HClO}_4\text{-H}_2\text{SO}_4$ 法测定；土壤全钾采用火焰光度法测定；土壤碱解氮采用碱解扩散法测定；有效磷采用钼蓝比色法测定；速效钾采用火焰光度法测定，土壤有机质采用重铬酸钾法测定，阳离子交换量采用 $\text{NH}_4\text{Cl-NH}_4\text{OAc}$ 法测定，土壤容重采用环刀法测定。

1.4.2 成熟期样品采集与测定

油菜籽产量以各小区实收风干重计量。油菜收获测产时，各小区取 50 g 风干籽粒样品用于品质性状检测，采用中国农业科学院油料作物研究所研制的 NYDL-3000 智能型多参数粮油品质速测仪测定籽粒中的含油率、蛋白质含量及脂肪酸组分等品质

指标。

1.5 相关参数计算方法

增产率 (%) = (各处理区油菜产量 - 常规施肥区油菜产量) / 常规施肥区油菜产量 × 100

肥料农学利用率 (kg/kg) = (施肥区作物产量 - 不施肥区作物产量) / 施肥总养分

肥料贡献率 (%) = (施肥区作物产量 - 不施肥区作物产量) / 施肥区作物产量 × 100

产值收益比 = 较对照增加的产值 / 较对照增加的投入

1.6 数据处理与分析

采用 Excel 2019 和 SPSS 17.0 进行统计分析和绘图，通过新复极差法 (Duncan 法) 进行显著性分析。

表 2 各处理的施肥量

试验点	处理	有机肥施用量 (kg/hm ²)	有机肥替代比例 (%)			化肥纯养分 (kg/hm ²)			有机肥纯养分 (kg/hm ²)		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
定南	CK	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	T1	0.00	0.00	0.00	0.00	166.42	89.96	89.96	0.00	0.00	0.00
	T2	0.00	0.00	0.00	0.00	149.93	74.96	74.96	0.00	0.00	0.00
	T3	2264.47	15.00	45.40	25.00	127.44	40.93	56.52	22.49	34.03	18.44
	T4	4528.94	30.00	90.80	50.00	104.95	6.90	38.08	44.98	68.07	36.88
丰城	CK	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	T1	0.00	0.00	0.00	0.00	182.16	168.67	78.71	0.00	0.00	0.00
	T2	0.00	0.00	0.00	0.00	175.86	107.95	125.94	0.00	0.00	0.00
	T3	1274.36	15.00	45.56	27.02	149.48	58.77	91.90	26.39	49.18	34.03
	T4	2548.73	30.00	91.11	54.05	123.09	9.60	57.87	52.77	98.35	68.07
高安	CK	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	T1	0.00	0.00	0.00	0.00	203.15	113.79	113.79	0.00	0.00	0.00
	T2	0.00	0.00	0.00	0.00	241.53	167.02	137.03	0.00	0.00	0.00
	T3	3518.14	15.02	39.23	25.27	205.25	101.5	102.40	36.28	65.52	34.63
	T4	7036.28	30.04	78.46	50.55	168.97	35.98	67.77	72.56	131.03	69.27

注：有机肥替代化肥比例是基于 T2 处理化肥用量计算。

2 结果与分析

2.1 有机肥替代部分化肥对油菜产量的影响

由表 3 可知，种植地、施肥处理及两者互作均对油菜的产量产生了显著影响 ($P<0.05$)，施肥处理及其与种植地的互作对增产率产生了显著影响 ($P<0.001$, $P<0.05$)。各试验点之间的油菜产量和增产率存在显著性差异，随着有机肥替代化肥的比

例升高，油菜的产量和增产率均显著提高。

各试验点的处理中，油菜产量最低的处理均为 CK。相比于 T1 处理，优化施肥和有机肥替代部分化肥处理均能够提高油菜的产量，有机肥替代率为 30% 时油菜产量最高。定南、丰城和高安试验点 T4 处理的产量较单施化肥 (T1 和 T2 处理) 分别提高 16.27% ~ 32.81%、30.88% ~ 36.24% 和 39.77% ~ 46.36%；较 T3 处理分别提高 8.13%、

15.99% 和 16.24%。结果表明，相比于常规施肥，减量增效，在本试验条件下，有机肥替代 30% 化肥处理为油菜增产的最佳施肥方式。

表 3 有机肥替代部分化肥对油菜产量和增产率的影响

处理	产量 (kg/hm ²)			增产率 (%)		
	定南	丰城	高安	定南	丰城	高安
CK	1378.81 ± 55.16d	1215.89 ± 111.59c	1218.70 ± 18.65e	-35.02 ± 6.95c	-38.07 ± 8.92c	-47.69 ± 2.78d
T1	2135.18 ± 147.52c	1980.00 ± 164.29b	2161.17 ± 82.37d	—	—	—
T2	2431.78 ± 120.69b	2058.47 ± 231.76b	2260.32 ± 23.78c	14.42 ± 7.55b	3.88 ± 6.03b	11.63 ± 3.43c
T3	2614.90 ± 113.75ab	2322.84 ± 192.92b	2717.89 ± 17.38b	22.65 ± 3.49ab	17.67 ± 9.53b	25.91 ± 4.78b
T4	2827.44 ± 101.48a	2694.15 ± 189.12a	3159.17 ± 27.34a	32.81 ± 7.81a	36.24 ± 4.12a	46.36 ± 5.81a
种植地 (P)		***			ns	
处理 (T)		***			***	
种植地 × 处理 (P×T)		*			*	

注：不同小写字母表示各处理间差异显著 ($P<0.05$)。* 表示 $P<0.05$ ；** 表示 $P<0.01$ ；*** 表示 $P<0.001$ ；ns 表示差异不显著。下同。

2.2 有机肥替代部分化肥对油菜的肥料农学利用率和肥料贡献率的影响

如图 1 所示，种植地和施肥处理对油菜的肥料农学利用率及肥料贡献率存在显著影响，且种植地和施肥处理的交互显著影响油菜的肥料贡献率 ($P<0.05$)。各试验点的肥料农学利用率和肥料贡献率均为 $T4>T3>T2>T1$ ，且 T4 处理的肥料农学利用率和肥料贡献率均显著高于 T1 处理。定南试验点

的 T2、T3 和 T4 处理之间的肥料农学利用率无显著差异，但均显著高于 T1 处理；丰城试验点仅 T4 处理的肥料农学利用率显著高于 T1 处理，其余各处理之间的肥料贡献率无显著区别；高安试验点各处理之间的肥料农学利用率和肥料贡献率均存在显著性差异，且各处理间的差异值随着有机肥替代化肥 N 比例的升高显著提高，有机肥替代率达到 30% 时肥料农学利用率和肥料贡献率可维持在较高的水平。

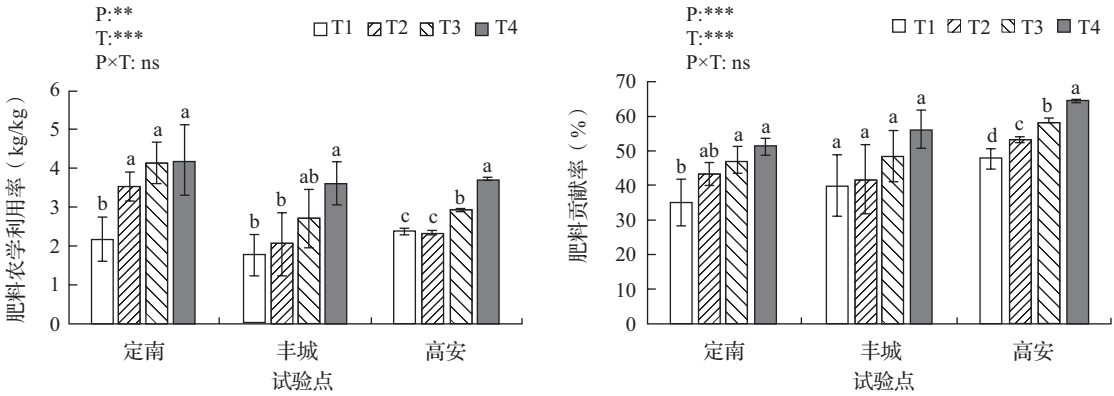


图 1 有机肥替代部分化肥对油菜肥料农学利用率和肥料贡献率的影响

注：不同小写字母表示相同试验点不同处理间存在显著性差异 ($P<0.05$)。* 表示 $P<0.05$ ；** 表示 $P<0.01$ ；*** 表示 $P<0.001$ ；ns 表示差异不显著。P 代表种植地，T 代表处理，P×T 代表种植地与处理的交互作用。下同。

2.3 有机肥替代部分化肥对油菜品质的影响

如表 4 所示，与常规施肥相比，有机肥替代部分化肥处理的油菜蛋白质含量显著降低，含油量和饱和脂肪酸含量显著提高 ($P<0.05$)。定南实验点的各处理中，CK 的油菜蛋白质含量最高，显著高于 T2、T3 和 T4 处理，且有机肥替代化肥的比例

越高，蛋白质的含量越低。油菜的含油量和饱和脂肪酸含量均为 $T4>T3>T2>T1>CK$ ，与 T1 处理相比，T2、T3 和 T4 处理的含油量均显著升高且 T4 处理的含油量显著高于其他处理；施用有机肥后的饱和脂肪酸含量显著高于 CK 和 T1 处理。结果显示，在常规施肥上进行化肥减量可以提高油菜的含油量



和饱和脂肪酸含量,降低油菜的蛋白质含量,有机肥替代 30% 化肥处理的蛋白质含量最低,含油量和饱和脂肪酸含量最高。

表 4 有机肥替代部分化肥对油菜品质的影响

(定南试验点)			
处理	蛋白质含量	含油量	饱和脂肪酸含量
CK	29.47 ± 0.32a	32.23 ± 0.27d	4.53 ± 0.41d
T1	29.20 ± 0.09a	35.87 ± 0.31c	5.16 ± 0.10c
T2	28.63 ± 0.24b	37.43 ± 0.05b	5.33 ± 0.05bc
T3	28.07 ± 0.19c	37.40 ± 0.47b	5.60 ± 0.09ab
T4	26.70 ± 0.24d	38.60 ± 0.34a	5.77 ± 0.10a

2.4 有机肥替代部分化肥对土壤理化性质的影响

2.4.1 有机肥替代部分化肥对土壤有机质的影响

由表 5 至表 7 可知,不同施肥处理对土壤有机质含量变化的影响显著,各试验点土壤有机质含量均为 T4>T3>T2>T1>CK,随着有机肥配施比例的增加,土壤的有机质含量显著增加。定南、丰城和高安试验点 T4 处理的土壤有机质较试验前分别提高了 9.74%、5.43% 和 29.10%;较单施化肥处理分别提高了 9.40% ~ 7.96%、5.34% ~ 6.04% 和 23.13% ~ 29.73%;较 T3 处理分别提高了 3.44%、1.92% 和 10.30%。结果表明,相比于单施化肥,施用有机肥可以显著提升土壤有机质含量,并且 30% 有机肥 +70% 化肥的配比对土壤有机质的提升效果最好。

2.4.2 有机肥替代部分化肥对土壤氮、磷和钾的影响

各试验点的土壤全氮含量均随化肥的减少而降低,有机肥替代 30% 化肥处理的土壤碱解氮含量显著高于单施化肥和不施肥对照处理。定南、丰城和高安试验点 T4 处理的碱解氮含量较试验前分别提高了 9.41%、13.16% 和 80.30%;较单施化肥处理分别提高了 6.70% ~ 8.68%、8.51% ~ 18.60% 和 20.30% ~ 34.27%;较 T3 处理分别提高了 2.13%、4.08% 和 16.28%。结果表明,施用有机肥可以提高

土壤碱解氮,有机肥替代 30% 化肥处理能够显著提升土壤碱解氮含量。

除高安试验点 T4 处理的土壤全磷较试验前升高,其余各处理均较试验前降低;对于土壤有效磷,除 CK 处理较施肥前降低,其余各处理的有效磷含量均较试验前升高。定南、丰城和高安试验点 T4 处理的土壤有效磷含量较试验前分别提高了 12.28%、19.42% 和 28.64%,较单施化肥处理分别提高了 5.09% ~ 9.25%、10.77% ~ 10.81% 和 14.95% ~ 16.23%;较 T3 处理分别提高了 2.72%、4.21% 和 4.40%。结果表明,施用有机肥能够促进土壤有效磷的积累。

各试验点的土壤速效钾含量均为 T4>T3>T2>T1>CK, T4 处理的速效钾含量显著高于单施化肥处理和不施肥对照。定南、丰城和高安试验点的土壤速效钾含量较试验前分别提高了 84.15%、13.65% 和 38.29%;较单施化肥处理分别提高了 49.15% ~ 82.36%、15.24% ~ 32.45% 和 26.34% ~ 83.78%;较 T3 处理分别提高了 20.26%、5.99% 和 14.86%。结果表明,有机无机配施能够促进土壤钾素的积累,尤其是促进土壤速效钾含量的提升。

2.4.3 有机肥替代部分化肥对土壤 pH 值、阳离子交换量和土壤容重的影响

各处理土壤 pH 值较试验前均提高,且施用有机肥后土壤 pH 值显著提高。其中,CK 处理对土壤 pH 值的影响最小, T4 处理对土壤 pH 值的影响最大。有机无机肥配施可以提高土壤的阳离子交换量,与试验前相比,定南、丰城和高安试验点 T4 处理的阳离子交换量提升幅度最大,分别上升了 25.65%、7.36% 和 73.69%。各施肥处理土壤容重较试验前均降低,且随着有机肥用量的增加而降低,与试验前土壤相比,定南、丰城和高安试验 T4 处理的土壤容重分别降低了 10.24%、8.40% 和 16.91%。结果显示,施用有机肥后,各试验点的土壤 pH 值、阳离子交换量均显著上升,土壤容重均显著降低。

表 5 定南试验点有机肥替代部分化肥处理对土壤理化性质的影响

处理	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	全磷 (g/kg)	全钾 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	pH	阳离子交换量 (cmol/kg)	土壤容重 (g/cm ³)
CK	35.01c	3.19c	0.79b	19.21d	109.48c	25.28d	81.12d	5.30b	16.21d	1.19a
T1	35.23c	3.55a	0.82a	20.83c	135.90b	26.27c	87.41d	5.32b	17.49c	1.21a
T2	35.70bc	3.42ab	0.8ab	21.54bc	133.42b	27.31b	106.87c	5.35b	18.36b	1.19a
T3	37.26ab	3.22c	0.83a	22.37b	141.97a	27.94b	132.55b	5.41a	19.80a	1.17ab
T4	38.54a	3.33bc	0.85a	23.72a	145.00a	28.70a	159.40a	5.48a	20.23a	1.14b

表 6 丰城试验点有机肥替代部分化肥处理对土壤理化性质的影响

处理	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	全磷 (g/kg)	全钾 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	pH	阳离子交换量 (cmol/kg)	土壤容重 (g/cm ³)
CK	37.89c	2.01c	0.79b	18.32bc	124.04d	23.06d	143.43e	5.50b	9.10b	1.23ab
T1	38.11c	2.21a	0.87a	18.37bc	181.77b	25.25c	154.05d	5.49b	8.62c	1.28a
T2	38.36c	2.12ab	0.89a	18.51b	166.30c	25.26c	177.06c	5.48b	9.36b	1.19b
T3	39.65b	2.07b	0.89a	18.92a	189.51ab	26.85b	192.50b	5.50b	9.71a	1.19b
T4	40.41a	2.02c	0.90a	15.63c	197.24a	27.98a	204.04a	5.64a	9.77a	1.20b

表 7 高安试验点有机肥替代部分化肥处理对土壤理化性质的影响

处理	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	全磷 (g/kg)	全钾 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	pH	阳离子交换量 (cmol/kg)	土壤容重 (g/cm ³)
CK	23.90e	1.51c	0.95d	15.45c	103.92e	20.80e	89.67e	5.00c	10.87e	1.37a
T1	26.67d	1.98a	1.14c	17.45b	162.76d	23.53d	128.33d	4.98c	12.20d	1.35a
T2	28.10bc	1.92a	1.13c	18.32ab	181.67c	23.95c	186.67c	4.96c	13.46c	1.34a
T3	31.37b	1.81b	1.56b	19.25a	187.94bc	26.37b	205.33b	5.10b	16.16b	1.18b
T4	34.60a	1.79b	2.13a	15.63c	218.54a	27.53a	235.84a	5.19a	18.95a	1.13b

3 讨论

3.1 有机肥替代部分化肥对油菜产量和增产率的影响

近年来,有机肥在水稻^[12]、柑橘^[13]等作物上的增产效果有较多报道,有机肥含有丰富的营养物质、腐殖质及微量元素。本研究中,定南、丰城和高安试验点施用有机肥后,油菜产量比常规施肥处理分别增加了22.65%~32.81%、17.67%~36.24%和25.91%~46.36%,产量随有机肥替代率的增加而升高,且高安试验点油菜的整体产量最高。这可能是由于高安试验点土壤养分含量低于其余试验点,且土壤容重较高,而有机肥恰好能够提高土壤养分含量,降低土壤容重,促进养分被作物吸收。此外,马肖等^[10]研究结果表明,施用有机肥能够促进氮素、磷素从营养器官向生殖器官转移,卢红玲等^[14]发现施用磷肥后油菜根系生长旺盛,对养分的吸收增加,油菜的分枝数、每株角果数等性状显著提高。本研究结果显示,施用有机肥后土壤氮、磷含量均提高,高安试验点有机肥施用量最高,T4处理的土壤碱解氮和全磷含量较试验前提升程度最高,产量和增产率也为各试验点最高,与前人研究结果一致。种植地土壤本底值的差异和有机肥施用量的不同可能导致不同种植地之间的油菜整体产量存在显著性差异。并且,施用

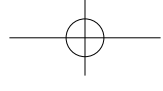
有机肥后,土壤中的微生物代谢加强,其分泌的有机酸等物质可以加速微量元素的溶解,增加作物对微量元素的吸收,从而促进油菜增产^[15]。

3.2 有机肥替代部分化肥对油菜肥料农学利用率和肥料贡献率的影响

肥料农学效率和肥料贡献率可表征单位面积肥料养分用量对油菜产量的贡献,与产量和施肥量最为密切。本研究中,T4处理的肥料农学利用率较T1和T2处理分别提高了55.27%~102.80%和19.38%~75.44%,肥料贡献率分别提高了34.78%~46%和18.47%~34.07%。施用有机肥能有效提高油菜的肥料农学利用率,有机肥替代30%化肥能使油菜的农学利用率维持在较好水平。这可能是由于有机肥中含有丰富的碳源,施入土壤后可以促进根系对肥料的吸附及对氮的吸收^[16],且施入有机肥后,根际土壤的氨基酸等根系分泌物的含量增加,促进了土壤中难溶性的磷和钾的溶解,从而提高根系对养分的吸收^[8]。

3.3 有机肥替代部分化肥对油菜品质的影响

化肥减量配施有机肥对油菜籽粒品质影响的研究较少,马肖等^[10]研究结果表明,化肥减量25%配施有机肥后,油菜籽粒蛋白质含量随着有机肥施用量增加而降低,含油量则呈增加趋势。本研究中,施用有机肥后,蛋白质含量显著降低,油菜籽的含油量和饱和脂肪酸含量显著升高,且有机肥替



代 30% 化肥处理的油菜籽品质最佳,与常规施肥处理相比,蛋白质含量降低了 8.56%,含油量和饱和脂肪酸含量分别提高了 7.61% 和 11.82%。

3.4 有机肥替代部分化肥对土壤理化性状的影响

结果表明,施用有机肥后土壤的全氮含量降低,但土壤全磷、全钾、速效养分和有机质含量均较单施化肥处理显著提高,且当有机肥替代率为 30% 时土壤养分含量的变化最为显著。这可能是由于随着有机肥施用量的提高,土壤脲酶和磷酸酶活性升高^[17-18],从而导致土壤碱解氮和有效磷含量提高。随着有机替代率的提高,土壤微生物菌群数量显著增加,大量不易水解的有机态氮被转化^[19],其后被根系充分吸收,导致土壤中全氮随有机肥施用量的升高而降低。施用有机肥能够增加土壤中的腐殖酸,与土壤中的磷、钾等阳离子形成络合物,促进土壤释放无机养分,增加土壤的磷、钾养分含量^[20-21]。本研究中,T4 处理的土壤碱解氮、有效磷和速效钾含量分别较常规施肥处理提高了 6.70% ~ 34.27%、9.25% ~ 17.00% 和 32.45% ~ 83.78%。施用有机肥可以显著提高土壤蔗糖酶和纤维素酶活性,不仅能促进蔗糖水解为单糖而成为植物、微生物的营养源物质,而且有助于纤维素分解为单糖而促进植物残体的分解^[22],从而促进土壤有机质的循环与积累,本研究中有有机肥替代 30% 化肥处理后,土壤有机质比施肥前提高 5.43% ~ 29.1%,相较于常规施肥处理提高了 6.04% ~ 29.73%,趋势与前人研究一致。

本研究中,施用有机肥后土壤 pH 值和阳离子交换量均显著升高,土壤容重均显著降低。孙玉平等^[23]发现有机无机配施能减缓土壤酸化,稳定土壤 pH 值。T4 处理的土壤 pH 值为 5.19 ~ 5.64,较常规施肥提升了 2.73% ~ 4.22%,江西省是典型的红壤区,长期施用有机肥能够改良红壤地区的土壤酸碱度,改善作物生长环境。阳离子交换量是土壤肥力最严重的制约因素之一,化肥配施有机肥能显著提高阳离子交换量^[24]。此外,有机肥中的有机质能够增加土壤中的无机胶结物,进而提高土壤团聚体数量和土壤孔隙度,缓解土壤板结,降低土壤容重^[25],而本研究结果表明施用有机肥后,阳离子交换量较常规施肥处理提高 12.65% ~ 55.33%,土壤容重相较于施肥前降低 8.40% ~ 16.91%,与前人研究结果趋势一致。

4 结论

(1) 相比于常规施肥,有机肥替代 30% 化肥处理能够显著提高肥料农学利用率和肥料贡献率,促使油菜产量提高 17.67% ~ 46.36%;(2) 施用有机肥后,油菜的蛋白质含量显著降低,含油量和饱和脂肪酸含量显著升高,品质得到较大的提升;(3) 有机无机配施能够改良土壤结构,活化土壤有效养分,提高土壤肥力,改善土壤环境。其中,土壤的碱解氮、有效磷等速效养分和阳离子交换量在施用有机肥后显著增加;(4) 有机肥替代 30% 化肥可以促进油菜增产提质和土壤理化性状改良,为油菜绿色节肥提供科学依据。

参考文献:

- [1] 刘成,冯中朝,肖唐华,等.我国油菜产业发展现状、潜力及对策[J].中国油料作物学报,2019,41(4):485-489.
- [2] 闫金焱,宋毅,陆志峰,等.磷肥用量对油菜籽产量及品质的影响[J].作物学报,2023,49(6):1668-1677.
- [3] 吕伟生,肖富良,张绍文,等.种肥播施方式对红壤旱地油菜产量及肥料利用率的影响[J].作物学报,2020,46(11):1790-1800.
- [4] 赵曼利,戴志刚,顾焱明,等.油菜用地养地的作物优势及其在冬闲田开发中的应用潜力[J].中国油料作物学报,2022,44(6):1139-1147.
- [5] Lv F, Song J, Giltrap D, et al. Crop yield and N₂O emission affected by long-term organic manure substitution fertilizer under winter wheat-summer maize cropping system [J]. Sci Total Environ, 2020, 732: 139321.
- [6] Qiu F, Liu W, Chen L, et al. Bacillus subtilis biofertilizer application reduces chemical fertilization and improves fruit quality in fertigated Tarocco blood orange groves [J]. Scientia Horticulturae, 2021, 281: 11004.
- [7] Yang Z C, Zhao N, Huang F, et al. Long-term effects of different organic and inorganic fertilizer treatments on soil organic carbon sequestration and crop yields on the North China Plain [J]. Soil and Tillage Research, 2015, 146: 47-52.
- [8] 王逗,杨杰,廖汝佳,等.化肥有机肥配施对油菜营养生长期根系分泌物的影响[J].中国土壤与肥料,2021(5):95-102.
- [9] 万辰,马瑛骏,张克强,等.洱海流域不同有机肥替代对土壤理化性质及油菜产量的影响[J].农业环境科学学报,2021,40(11):2494-2502.
- [10] 马肖,刘木兰,何潇,等.化肥减量配施有机肥对油菜产量形成及菜籽品质的影响[J].作物研究,2020,34(6):518-524.
- [11] 张建学,杨志奇,雷建明,等.有机肥与磷肥配施对旱地甘蓝型冬油菜根系生长·产量及品质的影响[J].安徽农业科

- 学, 2021, 49 (13): 165-168.
- [12] 郭诗梦, 牟静怡, 翟文举, 等. 有机肥等氮替代化肥对梗稻产量及干物质积累的影响[J]. 江苏农业科学, 2022, 50 (19): 56-61.
- [13] 万连杰, 何满, 田洋, 等. 有机肥替代化肥比例对槿柑生长发育、产量和土壤生物学特性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2022, 28 (4): 675-687.
- [14] 卢红玲, 崔新卫, 鲁耀雄, 等. 富磷有机肥对油菜生长和磷素吸收分配的影响[J]. 农业现代化研究, 2019, 40 (4): 702-710.
- [15] Michaud A M, Cambier P, Sappin-Didier V, et al. Mass balance and long-term soil accumulation of trace elements in arable crop systems amended with urban composts or cattle manure during 17 years[J]. Environ Sci Pollut Res Int, 2020, 27(5): 5367-5386.
- [16] Zhu S, Vivanco J M, Manter D K. Nitrogen fertilizer rate affects root exudation, the rhizosphere microbiome and nitrogen-use-efficiency of maize [J]. Applied Soil Ecology, 2016, 107: 324-333.
- [17] 刘寒双, 崔纪菡, 刘猛, 等. 有机肥替代部分化肥对谷子产量、土壤养分及酶活性的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2022 (7): 71-81.
- [18] 司海丽, 纪立东, 刘菊莲, 等. 有机肥施用量对玉米产量、土壤养分及生物活性的影响[J]. 西南农业学报, 2022, 35 (4): 740-747.
- [19] Zhang J Z, Bei S K, Li B S, et al. Organic fertilizer, but not heavy liming, enhances banana biomass, increases soil organic carbon and modifies soil microbiota [J]. Applied Soil Ecology, 2019, 136: 67-79.
- [20] 郝会军, 蔡朝阳, 张溪, 等. 腐殖酸及有机肥对土壤中钾淋溶规律的影响[J]. 江苏农业科学, 2021, 49 (11): 197-201.
- [21] 刘芸婷, 莫碧霞, 潘俊臣, 等. 腐殖酸与生物质碳对土壤磷素活化及无机磷形态转化的影响[J]. 广东农业科学, 2022, 49 (3): 106-115.
- [22] 王理德, 王方琳, 郭春秀, 等. 土壤酶学研究进展[J]. 土壤, 2016, 48 (1): 12-21.
- [23] 孙玉平, 朱安繁, 何小林, 等. 酸化土壤改良研究进展及综合治理——以江西省为例[J]. 中国农技推广, 2022, 38 (10): 63-65.
- [24] 张文学, 王少先, 刘增兵, 等. 基于土壤肥力质量综合指数评价化肥与有机肥配施对红壤稻田肥力的提升作用[J]. 植物营养与肥料学报, 2021, 27 (5): 777-790.
- [25] 杨颖楠, 黄明斌. 长期不同施肥处理对不同土层土壤水力性质的影响[J]. 水土保持通报, 2022, 42 (1): 56-62.

Effects of partial substitution of chemical fertilizer by organic fertilizer on rapeseed yield, quality and fertilizer utilization rate as well as soil properties

HUANG Xing-yu¹, ZHU An-fan^{1*}, YAO Feng-xian², CHEN Jin³, ZHANG Ya¹, XIA Wen-jian³, LV Zhen-zhen³, ZHANG Li-fang³, WANG Yong¹ (1. Agricultural Technology Promotion Center of Jiangxi Province, Nanchang Jiangxi 330046; 2. School of Life Science, Gannan Normal University, Ganzhou Jiangxi 341000; 3. Soil & Fertilizer and Environmental & Resource Research Institute, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang Jiangxi 330200)

Abstract: This research aimed to provide theoretical basis for improving the quality and efficiency of rapeseed production by revealing the effects of fertilizer reduction and combined application of organic and inorganic fertilizers on yield, quality and soil nutrients of rapeseed. With "Zheyong 938" and "Ganyouza No.8" of rapeseed as experimental materials, five treatments were set up, including no fertilizer application (CK), conventional fertilizer application (T1), optimized fertilizer application (T2), organic fertilizer substitution of 15% chemical fertilizer application (T3), and organic fertilizer substitution of 30% chemical fertilizer application (T4), to research the effects of partial substitution of chemical fertilizer with organic fertilizer on yields, fertilizer utilization ratio, quality and soil physical and chemical properties of rapeseed. The results showed that compared with conventional fertilization application treatment and optimal fertilization application treatment, the application of organic fertilizer significantly improved the yields and agronomic utilization rate of rapeseed. When the substitution rate of organic fertilizer reached 30%, the increase rate of yields on rapeseed was the highest, ranging from 36.24% to 46.36%. The oil content and saturated fatty acid content were 38.6% and 5.77%, respectively. In addition, T4 treatment could improve soil quality and structure, activate available nutrients, and enhance soil fertility. Compared with conventional fertilizer, the contents of alkali hydrolytic nitrogen, available phosphorus and available potassium increased by 6.70%-34.27%, 9.25%-17.00% and 32.45%-83.78%, respectively; soil pH value and cation exchange capacity increased by 2.73%-4.22% and 12.65%-55.33%, respectively, while soil bulk density decreased by 5.79%-16.30%. Substituting chemical fertilizer with organic fertilizer under equal nutrient supply combined with fertilizer reduction can improve the yields, quality and soil nutrient content of rapeseed. Under the experimental conditions, replacing 30% chemical fertilizer with organic fertilizer has the best effect, which can promote the recycling of nutrients and give consideration to the high quality and high yield of rapeseed and good physical and chemical properties of soil.

Key words: organic fertilizer; yield; soil physical and chemical properties; quality; rapeseed