

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2024.02.012

张慧, 王斌, 孙九胜, 等. 化肥减量配施有机肥对花生土壤有机碳及其组分的影响. 土壤, 2024, 56(2): 333–341.

化肥减量配施有机肥对花生土壤有机碳及其组分的影响^①

张慧^{1,2}, 王斌^{1*}, 孙九胜¹, 孙晨¹, 槐国龙¹, 崔磊¹

(1 新疆农业科学院土壤肥料与农业节水研究所, 乌鲁木齐 830091; 2 新疆大学生命科学与技术学院, 乌鲁木齐 830046)

摘要: 为了探究化肥减量配施两种不同黄腐酸钾有机肥对土壤有机碳(SOC)及其组分的影响, 采取盆栽试验模拟大田花生种植, 以不施肥、纯施化肥为对照, 设置 100% 化肥配施 100% 有机肥、75% 化肥配施 25% 有机肥、50% 化肥配施 50% 有机肥、25% 化肥配施 75% 有机肥和施用 100% 有机肥处理, 探讨了 SOC、可溶性有机碳(DOC)、微生物生物量碳(MBC)、易氧化有机碳(LOC)和惰性有机碳(ROC)在花生不同生育期内的含量特征。结果表明: 化肥减量配施有机肥各处理 SOC 及其组分含量在花生各生育期均表现为: 花针期显著高于结荚期和成熟期, 其中 DOC 和 MBC 含量结荚期显著高于成熟期($P<0.05$); 各处理 SOC 及其组分含量均表现为: 25% 化肥配施 75% 生化黄腐酸钾处理显著高于不施肥、单施化肥和单施有机肥处理, 50% 化肥配施 50% 矿源黄腐酸钾处理显著高于不施肥、单施化肥和单施有机肥处理; 其中花针期 25% 化肥配施 75% 生化黄腐酸钾处理 SOC、DOC、MBC、LOC 和 ROC 含量分别为 133.0 g/kg、284.4 mg/kg、269.7 mg/kg、30.76 g/kg 和 111.2 g/kg, 50% 化肥配施 50% 矿源黄腐酸钾处理 SOC、DOC、MBC、LOC 和 ROC 含量分别为 130.9 g/kg、250.5 mg/kg、251.7 mg/kg、29.86 g/kg 和 110.8 g/kg。综上, 化肥减量配施生化黄腐酸钾对 SOC 及其组分含量的影响整体优于配施矿源黄腐酸钾, 化肥减量配施黄腐酸钾花针期含量显著高于结荚期和成熟期($P<0.05$), 其中 25% 化肥配施 75% 生化黄腐酸钾处理对提升 SOC 及其组分含量效果最佳。

关键词: 化肥替代; 花生; 土壤; 有机碳及其组分

中图分类号: S565.2; S158.2 **文献标志码:** A

Effects of Chemical Fertilizer Reduction Combined with Organic Fertilizer on Soil Organic Carbon and Its Components in Peanut Soil

ZHANG Hui^{1,2}, WANG Bin^{1*}, SUN Jiusheng¹, SUN Chen¹, HUAI Guolong¹, CUI Lei¹

(1 Institute of Soil Fertilizer and Agricultural Water Saving, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China; 2 College of Life Science and Technology, Xinjiang University, Urumqi 830046, China)

Abstract: In order to explore the effects of chemical fertilizer (CF) reduction combined with organic fertilizers (OF biochemical or mineral fulvic acid potassium) on soil organic carbon (SOC) and its components, pot experiment was conducted to simulate field peanut planting, the treatments included: no fertilization (CK1) and pure chemical fertilizer (CK2) as controls, and 100% chemical fertilizer combined with 100% organic fertilizer (100%CF+100%OF), 75% chemical fertilizer combined with 25% organic fertilizer(75% CF+25% OF), 50% chemical fertilizer combined with 50% organic fertilizer(50% CF+50% OF), 25% chemical fertilizer combined with 75% organic fertilizer(25% CF+75% OF), and 100% organic fertilizer (100% OF). The content characteristics of SOC, soluble organic carbon (DOC), microbial biomass carbon (MBC), labile organic carbon (LOC) and recalcitrant organic carbon (ROC) were determined and discussed in different peanut growth stages. The results showed that SOC content and its components in each treatment of CF reduction combined with OF was significantly higher in flowering stage than in podding and mature stages, and the content of DOC and MBC was significantly higher in podding stage than in mature stage ($P<0.05$). SOC contents and its components under 25% CF+75% biochemical OF and under 50% CF+ 50% mineral OF were significantly higher than under CK1, CK2 and 100% OF. In flowering stage, the contents of SOC, DOC, MBC, LOC and ROC were 133.0 g/kg, 284.4 mg/kg, 269.7 mg/kg, 30.76 g/kg and 111.2 g/kg respectively under 25%CF+75% biochemical OF, 130.9 g/kg, 250.5 mg/kg, 251.7 mg/kg, 29.86 g/kg and 110.8 g/kg respectively under 50% CF+50% mineral OF. In summary, the effects

①基金项目: 自治区重大科技专项(2022A02007-3-3)和自治区重点研发专项(2021B02003-1)资助。

* 通讯作者(wbx_wm@126.com)

作者简介: 张慧(1996—), 女, 甘肃榆中人, 硕士研究生, 主要从事土壤生态相关研究。E-mail: 1754296369@qq.com

of CF reduction combined with biochemical OF on SOC content and its components are better than with mineral OF, the effects of CF combined with OF is better in flowering stage than in podding and maturity stages, and 25% CF+75% biochemical OF is better in improving SOC and its components.

Key words: Chemical fertilizer substitution; Peanuts; Soil; Organic carbon and its components

土壤碳库约占陆地总碳库的 2/3, 土壤有机碳库的微小变化会影响植被动态、全球气候变化以及碳循环和碳平衡^[1-2]。土壤有机碳库的组成比较复杂, 大体上可分为稳定性碳和不稳定性碳两种, 其中稳定性碳被称为惰性有机碳, 理化性质比较稳定, 不容易被氧化或水解^[3]; 不稳定性碳又被称为活性有机碳, 容易被分解、转化, 如可溶性有机碳、微生物生物量碳、易氧化有机碳等, 能够快速响应外界环境变化, 是土壤碳库研究中的热点^[4-5]。然而, 土壤各碳库组分之间能够相互转化, 共同调控土壤碳库的稳定性^[6]。因此, 厘清土壤各组分碳库的变化特征, 对深入理解土壤生态系统碳循环具有重要作用, 同时可为实现中国“碳达峰”和“碳中和”目标提供科学的数据支撑。

施肥是促进农业生产的重要措施之一。据 FAO 数据库统计, 我国是全球化肥用量最多的国家^[7]。研究表明, 过度施用化肥会导致土壤养分快速积累, 土壤有机质减少, 进一步导致农产品品质下降, 严重损害农田土壤的绿色可持续发展^[8-9]。土壤有机碳的稳定性与其结构的稳定性密切相关, 施肥可通过影响土壤有机碳的化学结构影响有机碳的稳定性^[10-11]。因此, 不合理施肥, 可能导致农田土壤碳的快速流失, 加剧农田土壤退化。目前, 施肥影响土壤系统有机碳组分变化的观点^[12-13]已被广泛接受, 但关于化肥减量配施有机肥尤其是黄腐酸钾有机肥与土壤有机碳及其组分变化的关系未有相关报道。

黄腐酸钾是一种分子量相对较小、容易被作物吸收利用的有机化合物^[14], 富含微生物菌群和有机质, 单价虽高, 但用量相对化肥较小, 达到效果的同时并未增加太大成本。生化黄腐酸钾主要从秸秆中提取的木质素磺化、裂解而成, 还可以从蔗糖、味精、造纸下脚料等植物残渣中提取。其原料来源丰富, 是可再生资源, 生产耗时短, 仅用数小时便可以完成自然界数万年的反应过程, 且提取纯度和提取成本远远低于矿源黄腐酸钾, 在促进植株生产上也明显优于矿源黄腐酸钾^[15], 适于在农业上大面积长期发展应用。而矿源黄腐酸钾则从泥炭、风化煤、褐煤中采用碱溶酸析的方法提取, 对于农作物在抗寒、抗旱、提高肥料利用率及其效果可靠性与稳定性等方面^[16], 比生化黄腐酸钾更胜一筹, 这也是其在农业方面和实际生产

销售中具有独特优势的地方。市场上这两种黄腐酸钾肥料均有销售, 除了价格和来源等, 在应用上的具体区别没有相关研究报道。基于此, 本研究利用盆栽试验, 探讨了两种不同种类的黄腐酸钾替代部分化肥条件下土壤中有机碳及其组分在花生不同生育期内的含量特征, 研究结果对农田生态系统的绿色可持续生产具有重要意义, 同时可为实现“双碳”目标提供数据支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

2022 年 4—8 月在乌鲁木齐市新疆农业科学院试验基地内, 选择高 22 cm、顶部圆形直径 30 cm、底部直径 10 cm 并带有 4 个通气孔的塑料花盆开展盆栽试验。供试土壤采自新疆乌鲁木齐市米东区长山子镇, 土壤基本理化性质见表 1。试验灌溉用水为自来水, 供试花生品种为 XJY-1(2021), 由新疆农业科学院经济作物研究所提供。

供试肥料: 氮肥为尿素(新疆心连心能源化工有限公司生产, 总 N \geq 460 g/kg), 磷肥为磷酸二氢钾(四川蜀灿化工有限责任公司生产, 含 P₂O₅ \geq 520 g/kg, K₂O \geq 340 g/kg), 钾肥为硫酸钾(国投新疆罗布泊钾盐有限责任公司生产, K₂O \geq 510 g/kg), 钙肥为乐钙(MINERA MICHI LLA.S.A 智利 MC 矿业生产, CaO 190 g/kg, N 155 g/kg, Te 10 g/kg); 有机肥包括以下 2 种: 生化黄腐酸钾(海南佰施得生物科技有限公司生产, 黄腐酸 \geq 500 g/kg, N+P₂O₅+K₂O \geq 50 g/kg, 有机质 \geq 450 g/kg), 矿源黄腐酸钾(新疆锦昊生物科技有限公司生产, 黄腐酸 \geq 500 g/kg, K₂O \geq 120 g/kg, 腐殖酸 \geq 500 g/kg, 有机质 \geq 650 g/kg)。

表 1 土壤基本理化性质
Table 1 Soil basic physiochemical properties

| pH | 总盐 (g/kg) | 有机质 (g/kg) | 碱解氮 (mg/kg) | 有效磷 (mg/kg) | 速效钾 (mg/kg) |
|------|--------------|---------------|----------------|----------------|----------------|
| 7.27 | 16.30 | 167.00 | 323.60 | 42.43 | 361.00 |

1.2 试验设计

盆栽试验前, 除去土壤中石块和植物残体等杂质并充分混匀备用。按照每盆 5.00 kg 的规格称取供试

土壤, 与基肥混合后装盆。

试验共 13 个处理, 每个处理 3 次重复, 共计 39 盆(表 2)。尿素总用量的 50% 作为基肥, 余 50% 作追肥, 并按照 10:3 比例分别于花生花针期(6 月 20 日)和结荚期(7 月 18 日)随水追施; 磷酸二氢钾、硫

酸钾、生化黄腐酸钾有机肥和矿源黄腐酸钾有机肥作为基肥一次性施入; 乐钙作为追肥于结荚期一次性施入。花生室内育苗后移植于盆中, 每盆 2 株。2022 年 4 月 20 日育苗, 5 月 1 日移栽, 8 月 10 日收获, 收获时花生各处理均已完全成熟。

表 2 试验处理肥料用量(g/pot)
Table 2 Fertilizer rates of different treatments

| 有机肥 | 处理 | 肥料比例 | 尿素 | 磷酸二氢钾 | 硫酸钾 | 乐钙 | 有机肥 |
|-----------|-----|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| - | CK | 0% 化肥 + 0% 有机肥 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 生化黄腐酸钾(S) | ST0 | 100% 化肥 + 100% 有机肥 | 1.493 | 0.432 | 0.784 | 0.640 | 5.333 |
| | ST1 | 100% 化肥 + 0% 有机肥 | 1.493 | 0.432 | 0.784 | 0.640 | 0.000 |
| | ST2 | 75% 化肥 + 25% 有机肥 | 1.120 | 0.324 | 0.588 | 0.480 | 1.333 |
| | ST3 | 50% 化肥 + 50% 有机肥 | 0.747 | 0.216 | 0.392 | 0.320 | 2.667 |
| | ST4 | 25% 化肥 + 75% 有机肥 | 0.373 | 0.108 | 0.196 | 0.160 | 4.000 |
| | ST5 | 0% 化肥 + 100% 有机肥 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 5.333 |
| 矿源黄腐酸钾(K) | KT0 | 100% 化肥 + 100% 有机肥 | 1.493 | 0.432 | 0.784 | 0.640 | 0.043 |
| | KT1 | 100% 化肥 + 0% 有机肥 | 1.493 | 0.432 | 0.784 | 0.640 | 0.000 |
| | KT2 | 75% 化肥 + 25% 有机肥 | 1.120 | 0.324 | 0.588 | 0.480 | 0.011 |
| | KT3 | 50% 化肥 + 50% 有机肥 | 0.747 | 0.216 | 0.392 | 0.320 | 0.021 |
| | KT4 | 25% 化肥 + 75% 有机肥 | 0.373 | 0.108 | 0.196 | 0.160 | 0.032 |
| | KT5 | 0% 化肥 + 100% 有机肥 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.043 |

注: 化肥用量参考新疆维吾尔自治区地方标准^[17], 有机肥用量参考产品推荐使用量。

1.3 样品采集

分别于花生花针期、结荚期及成熟期(收获后), 取部分盆内土壤, 混匀后去除样品中植物根系等杂质, 自然风干, 过 2 mm 筛, 用于土壤有机碳及其组分测定。

1.4 土壤有机碳及其组分测定

土壤有机碳(SOC)采用重铬酸钾容量法测定^[12]; 可溶性有机碳(DOC)采用蒸馏水浸提法(水土质量比 5:1)测定^[6]; 微生物生物量碳(MBC)采用氯仿-熏蒸法测定^[12]; 易氧化有机碳(LOC)采用 333 mmol/L KMnO₄ 氧化法测定^[6]; 惰性有机碳(ROC)采用 6 mol/L HCl 进行消煮, 总有机碳分析仪进行测定^[6]。

1.5 数据分析

试验数据采用 Excel 20、SPSS 22.0 软件进行处理与统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理下土壤有机碳的含量特征

SOC 是土壤固相的重要组成部分, 由植物和动物组织及处于不同分解阶段的土壤微生物体组成, 是表征土壤类型的主要特征之一^[18]。由图 1 可知, 各处理 SOC 含量在花生不同生育期各不相同。各生育

期 SOC 含量表现为: 化肥减量配施生化和矿源黄腐酸钾各处理花针期显著高于结荚期和成熟期, 各处理 SOC 含量表现为: ST4>ST5>ST0>CK>ST1>ST3>ST2, KT3>KT0>KT5>KT4>CK>KT1>KT2, 其中化肥减量配施生化黄腐酸钾中 ST4 处理各生育期 SOC 含量均最高, 花针期、结荚期、成熟期分别为 133.0、130.3、128.2 g/kg; 化肥减量配施矿源黄腐酸钾中 KT3 处理各生育期 SOC 含量均最高, 花针期、结荚期、成熟期分别为 130.9、126.5、126.8 g/kg。

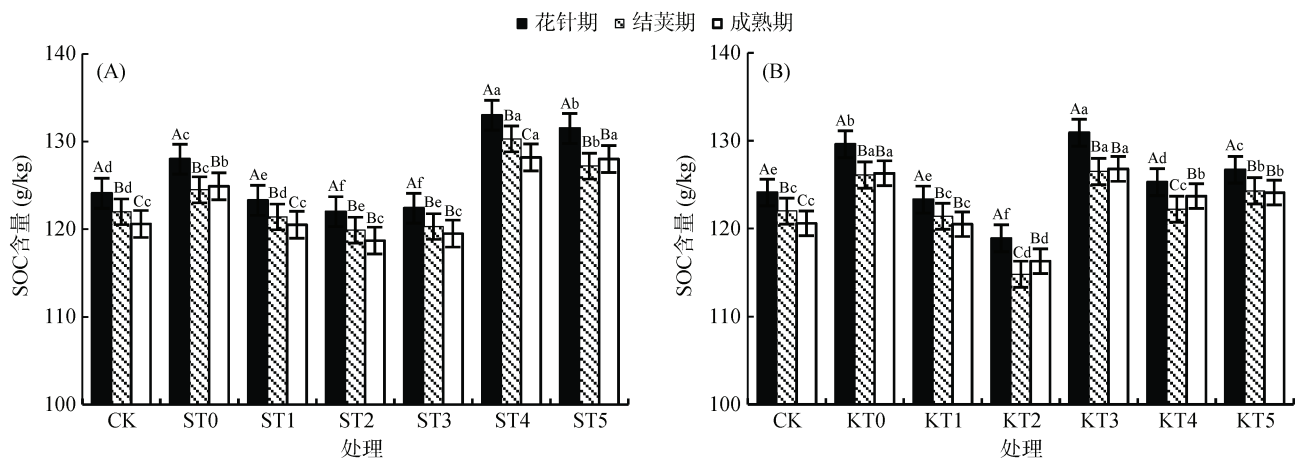
由图 2 可知, T2、T4 和 T5 处理在各生育期内均表现为配施生化黄腐酸钾处理 SOC 含量显著高于配施矿源黄腐酸钾处理, 花针期分别高 2.60%、4.44%、2.06%, 结荚期分别高 6.14%、6.62%、3.63% 和成熟期分别高 3.78%、2.33%、3.14%, 且 ST4 处理 SOC 含量高于 KT3 处理。由此可见, 25% 化肥配施 75% 生化黄腐酸钾处理效果最佳。

2.2 不同处理下可溶性有机碳的含量特征

DOC 是土壤碳库中流动性和活性最强的碳组分, 对温度变化具有较高的敏感性。DOC 对增温的响应将深刻影响土壤养分周转, 进而影响土壤生态系统碳循环^[19]。从图 3 得知, 各处理 DOC 含量不同生育期表现为: 花针期>结荚期>成熟期, 各生育期间

差异显著($P < 0.05$)。与 CK 处理相比,花针期 ST0、ST4、

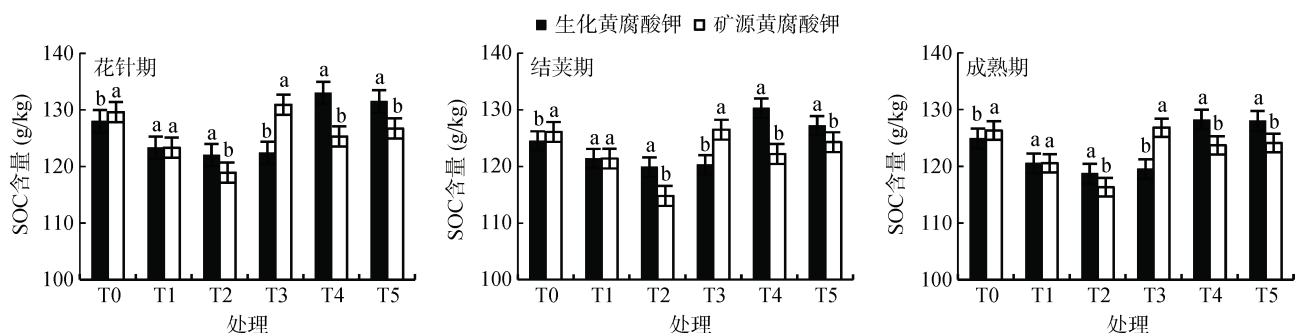
2.00% ~ 41.85%; 结荚期相应处理 DOC 含量增加 1.84% ~ 56.76%; 成熟期相应处理增加 1.29% ~ 43.91%。



(图 A、B 分别是化肥减量配施生化、矿源黄腐酸钾处理; 图中不同大写字母表示同一处理不同生育期间差异性显著($P < 0.05$), 不同小写字母表示同一生育期不同处理间差异性显著($P < 0.05$); 图 3、5、7、9 同)

图 1 不同生育期各处理 SOC 含量

Fig. 1 SOC contents at different growth stages under different treatments



(图中不同小写字母表示同一有机无机肥料比例下不同类型肥料间差异性显著($P < 0.05$); 图 4、6、8、10 同)

图 2 不同有机肥处理 SOC 含量特征

Fig. 2 SOC contents under different organic fertilizer treatments

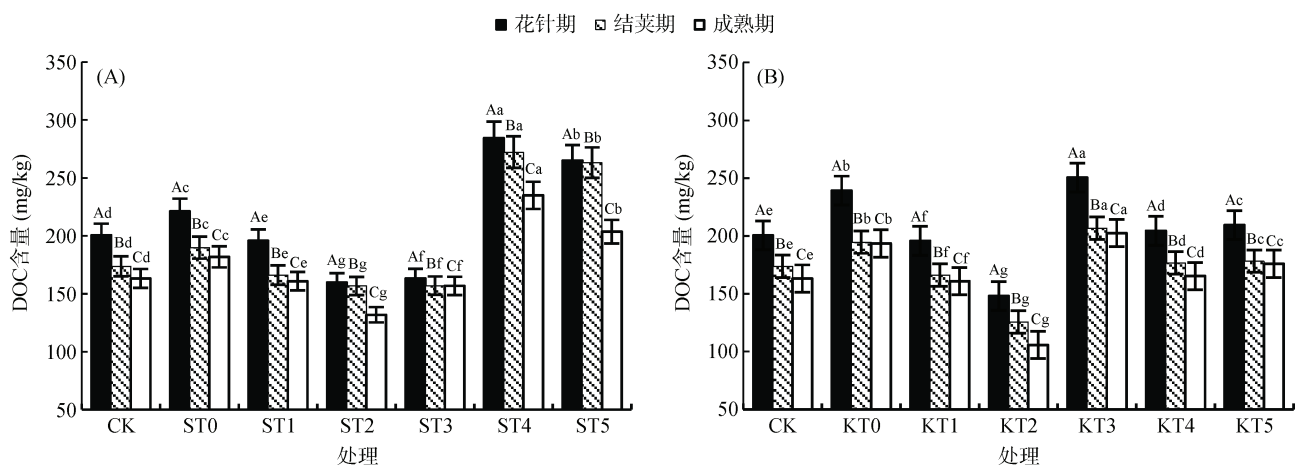


图 3 不同生育期各处理 DOC 含量特征

Fig. 3 DOC contents at different growth stages under different treatments

从图 4 可知, T2、T4、T5 处理 DOC 含量各个生育期内均为配施生化黄腐酸钾处理高于配施矿源

黄腐酸钾处理($P < 0.05$), 花针期、结荚期、成熟期分别高出 7.90%、39.07%、26.54%, 31.90%、53.93%、

47.70% 和 24.67%、42.08%、15.68%。综上，各生育期化肥配施不同有机肥对 DOC 含量均有一定的影响，其中以 25% 化肥配施 75% 生化黄腐酸钾效果最佳。

2.3 不同处理下微生物生物量碳的含量特征

MBC 是 SOC 中最活跃的部分，直接影响 SOC 的转化过程和土壤理化性状，能够准确反映土壤质量的变化^[20]。如图 5 所示，化肥减量配施生化和矿源黄腐酸钾各处理 MBC 含量不同生育期均表现为：花针期>结荚期>成熟期，各生育期间差异显著($P < 0.05$)。各处理 MBC 含量表现为：ST4>ST5>ST0>

CK>ST1>ST3>ST2, KT3>KT0>KT5>KT4>CK>KT1>KT2，其中 ST4 和 KT3 处理花针期、结荚期、成熟期 MBC 含量分别为 269.7、229.6、183.1 mg/kg 和 251.7、175.9、158.7 mg/kg。

如图 6 所示，花针期和成熟期 T2、T4、T5 处理 MBC 含量均为配施生化黄腐酸钾处理高于配施矿源黄腐酸钾处理，花针期分别高 6.50、125.10、22.40 mg/kg，成熟期分别高 6.00、63.60、14.10 mg/kg；T0、T3 处理 MBC 含量表现为配施矿源黄腐酸钾处理显著高于配施生化黄腐酸钾处理，花针期分别高 3.10、125.50 mg/kg，

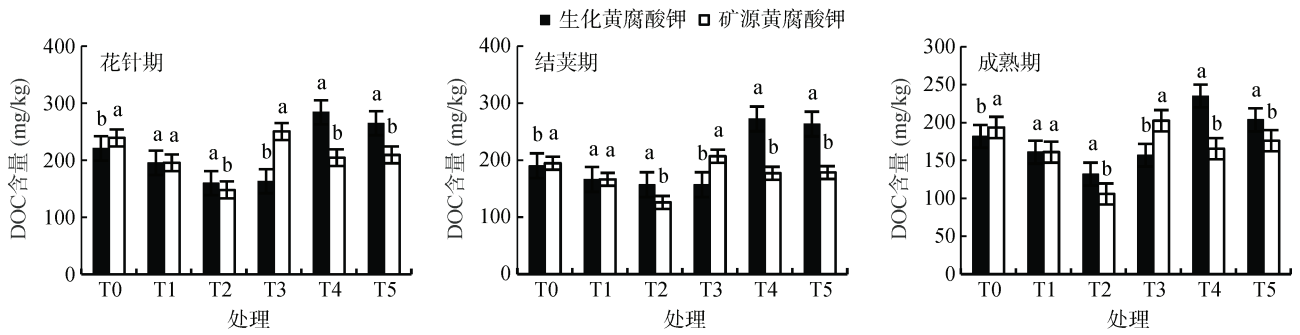


图 4 不同有机肥处理 DOC 含量特征

Fig. 4 DOC contents under different organic fertilizer treatments

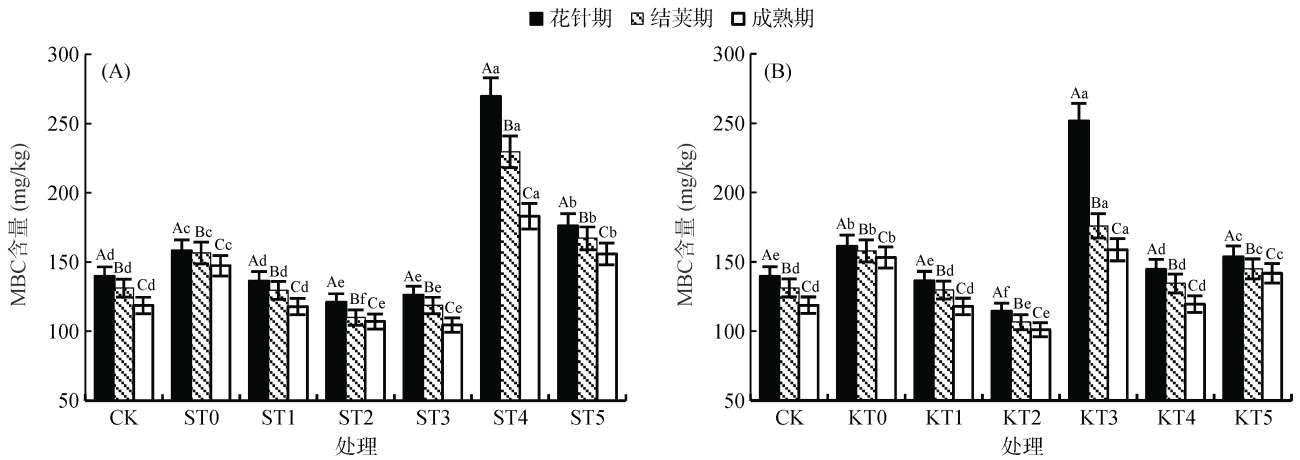


图 5 不同生育期各处理 MBC 含量特征

Fig. 5 MBC contents at different growth stages under different treatments

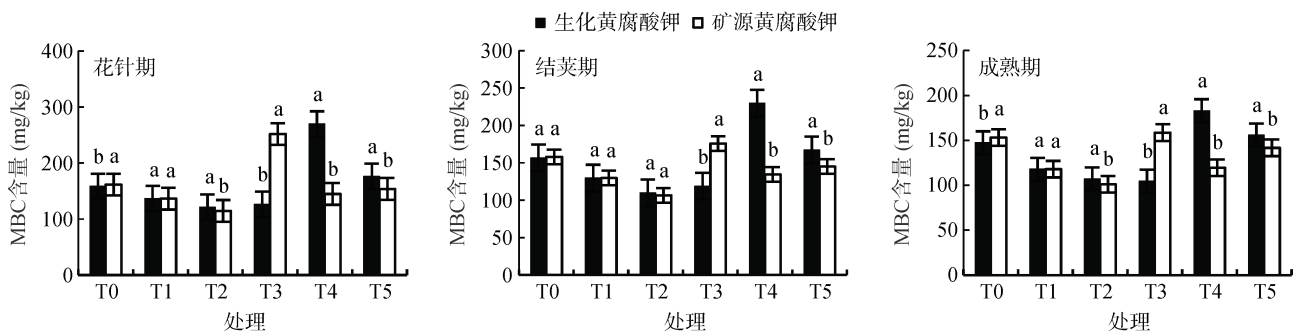


图 6 不同有机肥处理 MBC 含量特征

Fig. 6 MBC contents under different organic fertilizer treatments

成熟期分别高 5.70、54.10 mg/kg。结荚期化肥减量配施生化和矿源两种黄腐酸钾 T0、T1、T2 处理间无显著差异($P>0.05$)。综上, 化肥减量配施生化黄腐酸钾各处理整体优于配施矿源黄腐酸钾, 其中 ST4 处理各生育期 MBC 含量均最高。

2.4 不同处理下易氧化有机碳的含量特征

LOC 是在土壤酶和微生物作用下易被分解的有机碳, 能表征 SOC 的稳定性^[21]。由图 7 可知, 不同生育期化肥减量配施有机肥各处理对 LOC 含量有影响。各生育期不同处理下 LOC 含量均表现为: ST4>ST5>ST0>CK>ST1>ST3>ST2, KT3>KT0>KT5>KT4>CK>KT1>KT2, 其中化肥减量配施生化黄腐酸钾中 ST4 处理各生育期 LOC 含量均最高, 花针期、结荚期、成熟期分别为 30.76、29.59、29.49 g/kg, 与 CK

处理相比分别增加了 16.65%、26.08%、25.76%, 与单施化肥处理(ST1)相比分别增加了 19.83%、31.34%、32.90%; 而化肥减量配施矿源黄腐酸钾中 KT3 处理各生育期 LOC 含量均最高, 花针期、结荚期、成熟期分别为 29.87、28.85 和 28.64 g/kg, 与 CK 处理相比分别增加了 13.27%、22.92%、22.13%, 与单施化肥处理(KT1)相比分别增加了 16.36%、28.05%、29.07%。

由图 8 可知, T4、T5 处理各生育期内均为配施生化黄腐酸钾处理显著高于配施矿源黄腐酸钾处理($P<0.05$), 花针期、结荚期、成熟期分别高出 14.56%、10.81%、26.02%、14.71% 和 11.75%、3.53%; T0、T2、T3 处理各生育期内配施生化黄腐酸钾处理明显低于配施矿源黄腐酸钾处理($P<0.05$)。

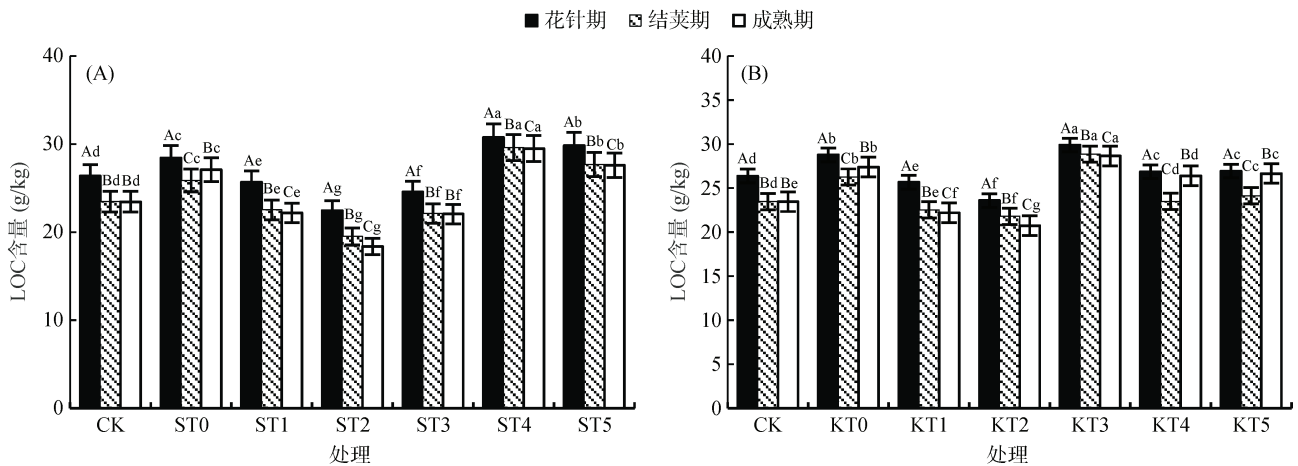


图 7 不同生育期各处理 LOC 含量特征

Fig. 7 LOC contents in different treatments at different growth stages

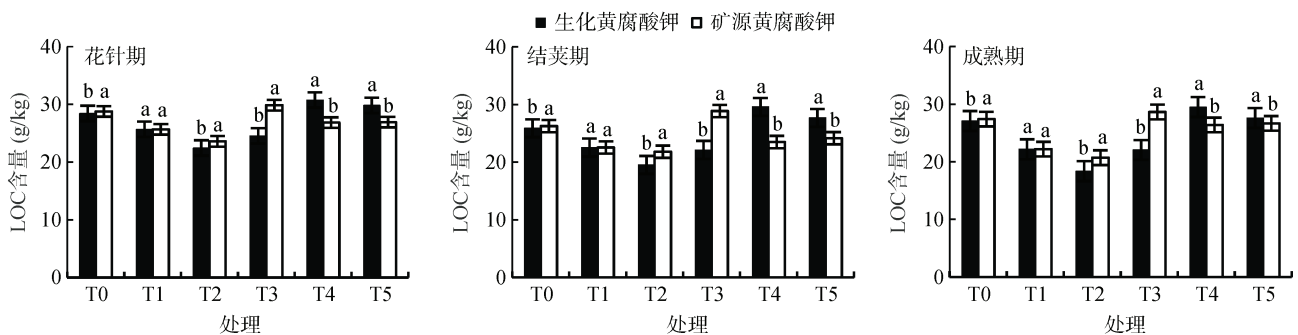


图 8 不同有机肥处理 LOC 含量特征

Fig. 8 LOC contents under different organic fertilizer treatments

2.5 不同处理下惰性有机碳的含量特征

ROC 相较于活性有机碳, 稳定性更高、更难分解, 在维持土壤质量及健康等方面具有重要作用^[22]。由图 9 可知, 化肥减量配施生化黄腐酸钾各处理与 CK 处理相比, 花针期 ROC 含量在 ST0、ST4、ST5 处理下增加 4.76%~14.99%, 在 ST1、ST2、ST3 处

理下减少 0.62%~3.21%; 结荚期 ROC 含量在 ST0、ST4、ST5 处理下分别增加 3.33%、11.24%、8.53%, 在 ST2、ST3 处理下分别减少 2.60%、1.66%; 成熟期 ROC 含量在 ST0、ST4、ST5 处理下分别增加 2.19%、7.91%、5.00%, 在 ST1、ST2、ST3 处理下分别减少 2.39%、5.52%、4.58%。化肥减量配施矿源

黄腐酸钾各处理与 CK 处理比较，花针期 ROC 含量在 KT0、KT3、KT4、KT5 处理下增加 2.59%~14.58%，在 KT1、KT2 处理下分别减少 0.52%、4.99%；结荚期在 KT0、KT3、KT4、KT5 处理下增加 0.62%~8.95%，KT2 处理下减少 4.89%；成熟期在 KT0、KT3、KT4、KT5 处理下增加 0%~7.49%，在 KT1、KT2 处理下分别减少 2.39%、4.99%。

由图 10 可知，T4 和 T5 处理在各生育期内均表现为配施生化黄腐酸钾处理 ROC 含量高于配施矿源黄腐酸钾处理，花针期、结荚期、成熟期分别高 12.0、7.8 g/kg，10.2、5.6 g/kg，7.6、3.1 g/kg，且 ST4 处理 SOC 含量高于 KT3 处理。综上，化肥减量配施不同有机肥在不同生育期对 ROC 含量有一定影响，其中以 25% 化肥配施 75% 生化黄腐酸钾效果最佳。

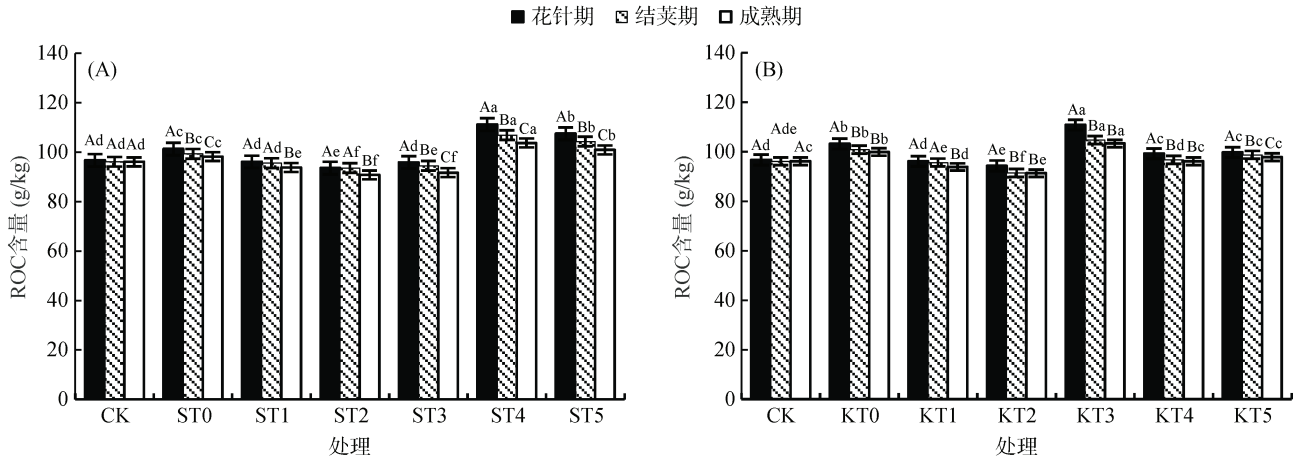


图 9 不同生育期各处理 ROC 含量特征

Fig. 9 ROC contents at different growth stages under different treatments

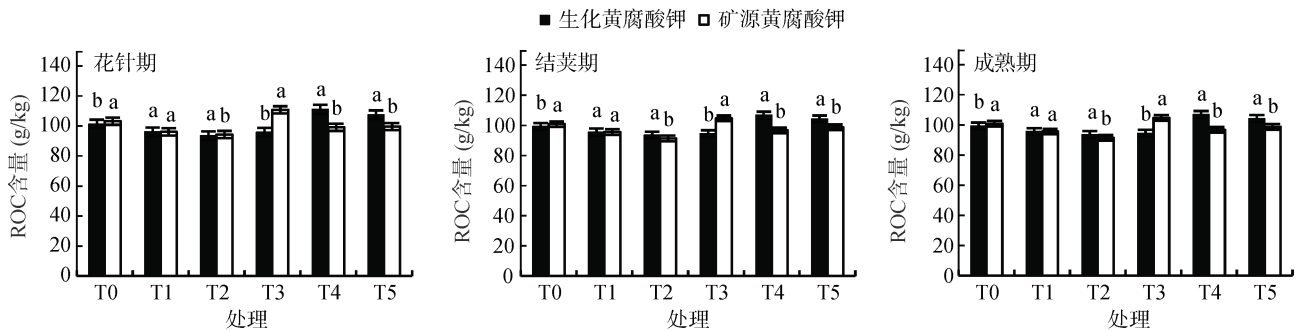


图 10 不同有机肥处理 ROC 含量特征

Fig. 10 ROC contents under different organic fertilizer treatments

3 讨论

施肥是影响土壤活性有机碳的主要因素之一，且最为直接有效^[23]。不同的施肥措施不仅会通过影响土壤的碳输入和输出过程而影响 SOC 的含量，还会通过影响 SOC 的矿化进而影响农田 SOC 库的稳定^[24]。本研究中，化肥减量配施不同种类有机肥均不同程度影响 SOC 及其组分含量，这与周泉等^[25]、Wang 等^[26]的研究结果一致，这可能与配施有机肥各处理条件下输入外源碳有关，农田土壤中直接补充有机物质能够促进作物吸收 CO₂，提高根系固碳能力，以及促进土壤微生物对新鲜有机物质的固定。在花生不同生育期内 SOC 及其组分表现为花针期显著大于结荚期和成

熟期，这与杜倩等^[27]对连作植烟土壤的研究结果相符合，原因可能是花生作物生长过程中不断吸收土壤中的养分，随着时间的延长 SOC 及其组分含量有一定损耗导致^[28]。刘强等^[29]研究结果表明，单施有机肥是有效提高旱区土壤质量、增强土壤碳汇功能的农田施肥措施，这与本研究结果不一致，原因可能是研究的土壤类型和试验条件不同。谢丽华等^[30]研究表明，50% 有机肥替代比例下较单施化肥能显著降低农田碳汇效应，这可能是因为施肥种类及用量影响作物生长，改变农田土壤微生物群落结构，影响土壤呼吸与土壤有机碳收支，这也是影响土壤碳平衡的重要因素^[31]。施用不同类型有机肥对 SOC 及其组分的含量有一定影响，本研究选用两种黄腐酸钾(生化、矿

源)进行试验,结果表明,化肥减量配施生化黄腐酸钾各处理 SOC 及其组分含量整体高于配施矿源黄腐酸钾各处理,这可能与不同有机肥类型对 SOC 固存性能、土壤微生物活性及有机组分活化不同有关。由于本研究仅测定了施肥当年花生地 SOC 及其组分的变化规律,后续的研究应充分考虑盆栽与大田试验相结合条件下新疆花生地长期的碳循环问题,跟踪研究配施情况下花生土壤 SOC 及其组分在年际间的动态变化,结合目前农作方式,探索新疆花生产业化化肥减量配施有机肥对土壤有机碳库的影响机制,为农田土壤碳库管理优化提供理论基础。

4 结论

化肥减量配施生化黄腐酸钾对 SOC 及其组分含量的影响整体优于配施矿源黄腐酸钾($P>0.05$),花生各生育期 SOC 及其组分含量均表现为:化肥减量配施黄腐酸钾花针期显著高于结荚期和成熟期($P<0.05$)。化肥减量配施生化黄腐酸钾处理中,生育期内 25% 化肥配施 75% 生化黄腐酸钾处理对 SOC 及其组分的影响显著高于不施肥、单施化肥和单施有机肥处理,该处理花针期 SOC、DOC、MBC、LOC 和 ROC 含量分别为 133.0 g/kg、284.4 mg/kg、269.7 mg/kg、30.76 g/kg 和 111.2 g/kg。化肥减量配施矿源黄腐酸钾处理中 50% 化肥配施 50% 矿源黄腐酸钾处理对 SOC 及其组分的影响显著高于不施肥、单施化肥和单施有机肥处理,该处理花针期 SOC、DOC、MBC、LOC 和 ROC 含量为 130.9 g/kg、250.5 mg/kg、251.7 mg/kg、29.86 g/kg 和 110.8 g/kg。

参考文献:

- [1] 张萌, 卢杰, 于德水, 等. 色季拉山林线典型植被下土壤有机碳及其组分特征[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2022, 50(12): 77–86.
- [2] Tang H M, Li C, Xiao X P, et al. Effects of long-term fertiliser regime on soil organic carbon and its labile fractions under double cropping rice system of Southern China[J]. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science, 2020, 70(5): 409–418.
- [3] Zhao C S, Zhang Y P, Liu X B, et al. Comparing the effects of biochar and straw amendment on SoilCarbon pools and bacterial community structure in degraded soil[J]. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 2020, 20(2): 751–760.
- [4] 朱浩宇, 王子芳, 陆畅, 等. 缙云山 5 种植被下土壤活性有机碳及碳库变化特征[J]. 土壤, 2021, 53(2): 354–360.
- [5] Zhao Z H, Gao S F, Lu C Y, et al. Soil organic carbon fractions and its association with water-stable aggregates under different fertilization management practices[J]. Soil Use and Management, 2022, 38(1): 478–486.
- [6] 宋瑞朋, 杨起帆, 郑智恒, 等. 3 种林下植被类型对杉木人工林土壤有机碳及其组分特征的影响[J]. 生态环境学报, 2022, 31(12): 2283–2291.
- [7] 王艳丹, 余建琳, 张梦寅, 等. 施氮对干热河谷农田土壤有机碳及其组分的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2022(9): 8–17.
- [8] Zhao Y M, Lv H F, Qasim W, et al. Drip fertigation with straw incorporation significantly reduces N_2O emission and N leaching while maintaining high vegetable yields in solar greenhouse production[J]. Environmental Pollution, 2021, 273: 116521.
- [9] Wang M, Xu Y, Ni H P, et al. Effect of fertilization combination on cucumber quality and soil microbial community[J]. Frontiers in Microbiology, 2023, 14: 1122278.
- [10] 缪玉琳, 梁丰, 谢军, 等. 长期有机肥替代化肥对水稻土有机碳稳定性的影响[J]. 土壤学报, 2023, 60(2): 512–522.
- [11] 李娜, 盛明, 尤孟阳, 等. 应用 ^{13}C 核磁共振技术研究土壤有机质化学结构进展[J]. 土壤学报, 2019, 56(4): 796–812.
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [13] Liu E K, Zhou J, Yang X, et al. Long-term organic fertilizer-induced carbonate neoformation increases carbon sequestration in soil[J]. Environmental Chemistry Letters, 2023, 21(2): 663–671.
- [14] Qu Y, Bao G Z, Pan X Y, et al. Resistance of highland barley seedlings to alkaline salt and freeze-thaw stress with the addition of potassium fulvic acid[J]. Plant, Soil and Environment, 2022, 68(7): 299–308.
- [15] Xiao H J, Zhou Y, Mao K, et al. Effects of potassium fulvic acid and DA-6 on the growth and yield of tomato cultivated with rock wool[J]. American Journal of Biochemistry and Biotechnology, 2020, 16(2): 162–169.
- [16] Pavlova O V, Mitropolova L V, Naumova T V, et al. Influence potassium humate and vostok EM-1 drugs on yield and quality of Soybean Variety Ivan Karamanov in the conditions of the Primorskii Krai[J]. Revista Amazonia Investiga, 2020, 9(31): 116–126.
- [17] 新疆维吾尔自治区质量技术监督局. 花生膜下滴灌高产栽培技术规程: DB65/T 3989—2017[S]. 北京: 标准出版社, 2017.
- [18] 李苏青, 管冬兴, 李希媛, 等. 天津滨海湿地土壤有机碳和有效磷的盐度响应及影响因素[J/OL]. 生态学杂志: 1-13 (2024-03-07).
- [19] Liu F T, Kou D, Abbott B W, et al. Disentangling the effects of climate, vegetation, soil and related substrate properties on the biodegradability of permafrost-derived dissolved organic carbon[J]. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences, 2019, 124(11): 3377–3389.
- [20] 景宇鹏, 高日平, 陈玉海, 等. 河套平原盐碱化土壤有机碳及微生物量碳剖面分布特征[J]. 中国土壤与肥料, 2022(10): 11–19.

- [21] 王幼奇, 夏子书, 包维斌, 等. 银川鸣翠湖国家湿地公园香蒲、荷花、石菖蒲和芦苇生长区土壤有机碳及其组分含量对比研究[J]. 湿地科学, 2020, 18(3): 294–302.
- [22] 习丹, 余泽平, 熊勇, 等. 江西官山常绿阔叶林土壤有机碳组分沿海拔的变化[J]. 应用生态学报, 2020, 31(10): 3349–3356.
- [23] 杨滨娟, 李新梅, 胡启良, 等. 不同轮作休耕模式对稻田土壤有机碳及其组分的影响[J]. 华中农业大学学报, 2022, 41(6): 51–58.
- [24] 郭万里, 武均, 蔡立群, 等. 不同氮素水平下生物质炭、秸秆添加对陇中黄土高原旱作农田土壤活性有机碳的影响[J]. 水土保持学报, 2020, 34(1): 283–291.
- [25] 周泉, 王龙昌, 邢毅, 等. 秸秆覆盖条件下紫云英间作油菜的土壤团聚体及有机碳特征[J]. 应用生态学报, 2019, 30(4): 1235–1242.
- [26] 王利民, 范平, 罗涛, 等. 培肥措施对茶园土壤碳组分和茶叶产量的影响[J]. 亚热带资源与环境学报, 2018, 13(1): 45–50.
- [27] 杜倩, 黄容, 李冰, 等. 生物炭还田对植烟土壤活性有机碳及酶活性的影响[J]. 核农学报, 2021, 35(6): 1440–1450.
- [28] 杨昕, 王克勤, 宋娅丽, 等. 施用土壤改良剂对坡耕地烤烟土壤有机碳及其组分的影响[J]. 土壤, 2023, 55(1): 178–186.
- [29] 刘强, 梁鑫, 董佩丽, 等. 不同施肥措施对黄土丘陵区农田土壤有机碳组分和碳库管理指数的影响[J]. 土壤, 2023, 55(2): 446–452.
- [30] 谢丽华, 李玲玲, 谢军红, 等. 有机肥替代化肥对陇中旱区玉米生长及农田碳排放的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2022, 28(6): 1029–1038.
- [31] 林仕芳, 王小利, 段建军, 等. 有机肥替代化肥对旱地黄壤有机碳矿化及活性有机碳的影响[J]. 环境科学, 2022, 43(4): 2219–2225.