

持续秸秆还田对新疆棉田土壤可矿化碳库的影响^①

魏 飞¹, 黄金花², 马芳霞¹, 景 峰¹, 刘建国^{1*}

(1 石河子大学新疆兵团绿洲生态农业重点实验室, 新疆石河子 832003; 2 克拉玛依市克拉玛依区农林水牧局, 新疆克拉玛依 834000)

摘 要: 依据新疆绿洲棉花长期连作的微区定位试验, 研究了在秸秆还田和不还田处理下, 棉田土壤有机碳矿化特征, 以及土壤有机碳释放随棉花秸秆还田年限的变化规律。结果表明 秸秆还田与不还田处理相比增加了 0~60 cm 土层土壤的总有机碳(TOC)、可矿化碳(MC)的含量和矿化速率(MR), 并且随着秸秆还田年限的加长呈上升趋势, 但随土层的加深而下降。持续秸秆还田后棉田随着秸秆还田时间增加土壤有机碳矿化速率、累积矿化排放量(CO₂-C 排放量)增加, 但矿化强度呈降低趋势, 而棉花连作但秸秆不还田的棉田变化趋势与之相反。说明棉花秸秆还田措施增加了新疆绿洲棉田土壤有机碳含量, 土壤有机碳虽然不断得到补充, 但尚未达到饱和状态, 随着秸秆还田时间延长棉田固碳能力下降。

关键词: 秸秆还田; 棉田; 土壤可矿化碳; 碳库特征

中图分类号: S153.6 文献标识码: A

土壤碳矿化过程是联系土壤与大气的重要纽带, 土壤碳矿化强度关系着土壤经微生物作用分解 CO₂ 的数量与强度。故它能在一定程度上评估土壤状况及由人为或自然因素对土壤产生的影响^[1-3]。由于土壤碳排放过程是土壤碳循环的重要环节, 因此它能直接影响多种温室气体的排放、土壤养分元素的变化及土壤状况的保持等方面^[4-6]。研究土壤碳矿化过程对科学管理田间养分及揭示农业系统中碳循环特征具有重要的现实意义。农田生态系统的土壤有机碳总是不断处于矿化分解和碳素固定的平衡过程中, 这种平衡是由外源有机物质的投入、腐解与土壤有机质矿化分解之间的量能关系决定的^[1,7]。农田土壤中碳素的矿化与固定受土壤环境、土壤自身理化性质、外源添加物和农作制度等综合影响^[8-11]。

秸秆还田是当前应用广泛、价格低廉的农田培肥措施之一。因作物秸秆具有充足的有机碳量, 故还田后能有效增加土壤微生物种群和数量。秸秆自身有机碳的矿化, 同时也会促进或抑制土壤固有有机碳的矿化降解^[12-14]。农田生态系统由于受农事活动的干扰, 土壤有机碳不断得到补偿, 不可能达到绝对的饱和状态, 但在长期特定的管理模式下, 土壤有机碳含量会实现自身的动态平衡, 即达到最大碳容量值^[15]。因

此从机理上研究土壤有机碳的矿化及对外源有机碳的固持对农田土壤碳库管理具有十分重要的意义。

近年来, 有关土壤可矿化碳及其影响因素的研究较多, 但多集中在农地、湿地和常态地貌的林地等^[16-18], 而对在特定管理措施下, 在新疆绿洲农区持续秸秆还田下连作棉田土壤矿化碳含量动态变化的研究少有提及。本论文旨在通过对持续秸秆还田下连作棉田土壤可矿化碳相关指标的测定与分析, 以全面了解新疆绿洲农区棉田中可矿化碳的变化规律及土壤碳排放随秸秆还田年限的变化动态, 这对深入认识秸秆还田措施对棉田土壤有机碳变化及土壤碳库科学管理具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验点位于新疆石河子大学农学院试验站(86°03'E, 45°19'N)长期连作定位试验田。该地海拔 443 m, 年均日照时长可达 2 865 h, ≥10 °C 积温 3 480 °C, 无霜期长达 160 d, 多年平均降水量 208 mm, 平均蒸发量达 1 660 mm, 属于温带大陆性气候, 光热资源丰富且降雨量少, 昼夜温差较大, 为典型的绿洲灌溉农区, 土壤类型为灌耕灰漠土, 质地为壤土。

基金项目: 国家自然科学基金项目(31260307)资助。

* 通讯作者(l-jianguo@126.com)

作者简介: 魏飞(1993—), 男, 四川绵阳人, 硕士研究生, 研究方向为绿洲生态与农作制度。E-mail: 18681617523@163.com

1.2 田间试验设计

石河子大学农学院试验站棉花长期连作定位微区试验田设有秸秆还田模式和不还田模式两种处理, 秸秆还田模式设有棉花种植 5、10、15、20、25 和 30 年处理, 本论文中标记为 5a、10a、15a、20a、25a 和 30a, 无秸秆还田模式下设有棉花种植 1、5、10 和 15 年处理(标记为 CK1、CK5、CK10 和 CK15), 共计 10 个处理。每小区 1.5 m × 1.5 m, 不同连作处理间用防渗膜隔开, 每处理重复 3 次。

定位试验田土壤均取自农八师石河子总场三分场二连, 根据 0 ~ 20、20 ~ 40 和 40 ~ 60 cm 分层取土, 并按原层次填入长期定位试验田内, 且土壤初始背景值相近。棉花秸秆还田种植模式操作方法是棉花每年 10 月中旬收获后, 将地上部秸秆剪成 5 ~ 8 cm, 即模拟大田生产中棉花秸秆还田机械还田长度, 撒施化肥后翻入耕层, 而后冬灌; 棉花秸秆不还田种植模式是棉花收获后将地上部秸秆带出棉田, 然后施化肥、翻耕及冬灌。

2014 年棉花种植品种为“新陆早 46 号”, 按“30 cm + 60 cm + 30 cm”宽窄行距配置, 膜下滴灌, 4 月 18 日播种, 留苗密度为每公顷 19.8 万株, 7 月 6 日打顶。全生育期滴灌 11 次, 灌溉量 5 400 m³/hm², 共施纯氮 495 kg/hm², 30% 做基施, 其余在生育期随水滴入, 其他田间管理措施与大田高产田相同。

1.3 土壤样品采集

于 2014 年 4 月上旬棉花播种前, 用取土钻采集各处理 0 ~ 20、20 ~ 40 和 40 ~ 60 cm 土层土样, 各处理各土层重复 3 次。土样带回实验室自然风干, 研磨过 100 目筛后装入密封袋中保存待用。

1.4 测定方法

土壤总有机碳及微生物生物量碳的测定: 土壤总有机碳采用重铬酸钾容量-外加加热法测定, 土壤微生物生物量碳采用氯仿熏蒸-K₂SO₄ 浸提法测定。

土壤可矿化碳测定: 土壤可矿化碳采用密闭培养碱液吸收法进行测定。称取过 1 mm 筛的 20 g 风干土置于 300 ml 塑料瓶, 加水调至 60% 的田间持水量, 先放入 25℃ 恒温培养箱中黑暗培养 1 周, 以恢复土壤的生物活性; 7 d 后再将装有 10 ml NaOH(0.5 mol/L) 溶液的小瓶子置于塑料瓶的中间, 密封培养 5 周, 每周末取出小瓶子, 用标准的 HCl 滴定 NaOH 吸收的 CO₂ 量, 然后更换碱液, 继续培养。用消耗 HCl 的量来计算土壤已矿化碳的含量, 每周测出 CO₂-C 的释放量, 土壤矿化用产生的 CO₂-C mg/kg 表示, 用称重法校正水分含量, 每处理设 3 次重复和空白对照;

$q\text{CO}_2 = \text{CO}_2\text{-C}/C_{\text{mic}}$, CO₂-C 为可矿化碳, C_{mic} 为微生物生物量碳。

1.5 数据统计与分析

数据采用 Excel 及 SPSS 进行统计分析。采用单因素方差分析(one-way ANOVA) 和最小显著差异法(LSD)比较不同数据组间的差异($\alpha=0.05$)。

2 结果与分析

2.1 持续秸秆还田下棉田土壤总有机碳含量的变化

根据图 1 得出, 秸秆还田处理下, 0 ~ 60 cm 土层土壤的总有机碳含量(TOC)均以种植 5a 最低, 种植 30a 最高。其中, 0 ~ 20 cm 土层 TOC 含量最高, 20 ~ 40 cm 土层次之, 40 ~ 60 cm 土层最低, 反映出 TOC 含量随土层加深而降低, 随秸秆还田年限的增长而增加的趋势。表土层(0 ~ 20 cm)土壤中 TOC 含量向下层土壤的迁移情况可以通过表土层以下各层土壤 TOC 含量与表层土 TOC 含量的百分比反映, 秸秆还田处理下种植 5a 至 30a 的 20 ~ 40 cm 土层与表层土的 TOC 之比分别为 0.71、0.85、0.76、0.82、0.84 和 0.91; 40 ~ 60 cm 土层与表层土的 TOC 之比分别为 0.48、0.66、0.54、0.59、0.58 和 0.69。由以上数据看出, 种植 5a 至 30a 的下层土壤 TOC 所占比重随时间变化呈增加趋势, 说明秸秆还田处理下土壤 TOC 含量随着秸秆还田年限的增长有向下层迁移富集的变化。然而秸秆不还田处理下, 各种种植年限棉田 TOC 含量显著低于秸秆还田处理, 且随着种植年限的增长呈现先上升后下降的变化趋势, CK1 至 CK5 增加, CK5 至 CK15 降低, CK1 至 CK15 的 20 ~ 40 cm 土层与表层土的 TOC 之比分别为 0.85、0.85、0.83 和 0.81; 40 ~ 60 cm 土层与表层土的 TOC 之比分别为 0.49、0.67、0.57 和 0.55。由以上数据看出, CK5 至 CK15 的下层土壤 TOC 含量所占比重呈下降趋势, 说明秸秆不还田处理下土壤有机碳补给能力较低。与秸秆不还田处理相比, 秸秆还田处理能增强土壤的固碳能力, 且随着秸秆还田年限延长下层土壤的 TOC 富集量越多。

2.2 持续秸秆还田下棉田土壤可矿化碳库特征

2.2.1 土壤可矿化碳含量变化 土壤可矿化碳(MC)可用于衡量微生物可分解土壤有机物质的含量, 它既能一定意义上代表土壤被矿化部分的碳量, 同时又能与土壤肥力、环境胁迫、耕种时间长短及土壤持续性等建立一定联系^[6,19-20]。根据图 1 得出, 秸秆还田处理下 0 ~ 60 cm 土层 MC 含量均随着种植年限的增长除 15a 略有下降外均呈增加的变化趋势。秸秆

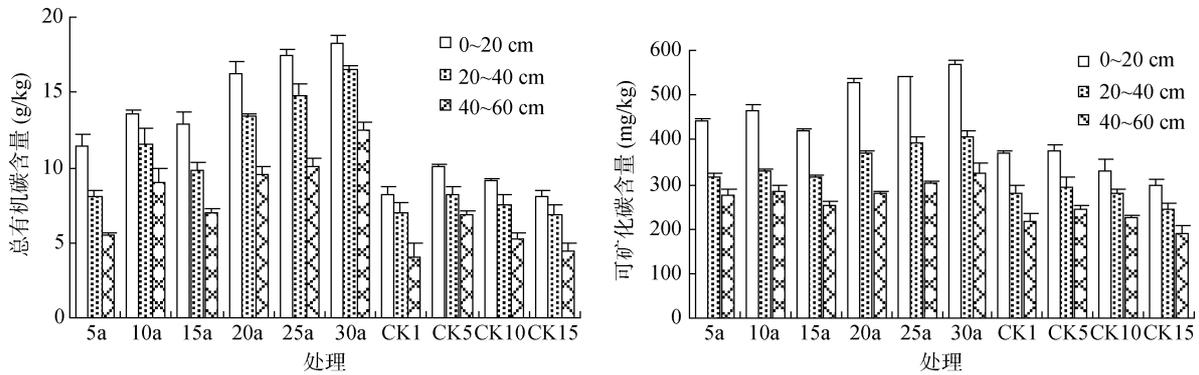


图 1 不同种植年限棉田土壤总有机碳与可矿化碳含量

Fig. 1 Contents of soil total organic carbon (TOC) and mineralizable carbon (MC) in different cropping years

不还田处理下 3 个土层 MC 含量随种植年限增长呈降低的变化趋势。与秸秆不还田处理相比，秸秆还田处理下 3 个土层 MC 含量均显著高于秸秆不还田处理。这说明，秸秆还田可以显著提高 MC 含量，且随着秸秆还田年限增长 MC 含量逐渐增大。同时，秸秆还田处理各种种植年限土壤 MC 含量均以 0~20 cm 土层最大，20~40 cm 土层次之，40~60 cm 土层最小。由以上特征可说明，土壤 MC 含量随秸秆还田年限的增长而提高，随土壤加深呈减少的趋势，尤其是土壤 0~20 cm 表层的 MC 变化幅度比较大，说明在 0~20 cm 土层土壤有机物质的转化速度较快，微生物的活性较强；而在 20~40 cm 和 40~60 cm 土层，MC 含量的变化基本上趋于稳定，有机物质的转化速度相对 0~20 cm 土层较缓。同时秸秆还田处理下不同种植年限在相同土壤深度土壤 MC 含量也有所差异，在 0~20 cm 土层，种植 30a 的 MC 含量分别比种植 5a、10a、15a、20a 和 25a 高 28.27%、22.58%、35.11%、7.42% 和 5.19%；20~40 cm 土层种植 30a 的 MC 含量分别比种植 5a、10a、15a、20a 和 25a 高 28.94%、23.24%、29.76%、10.66% 和 3.32%；40~60 cm 土层种植 30a 的 MC 含量分别比种植 5a、10a、15a、20a 和 25a 高 18.37%、14.48%、27.47%、16.00% 和 8.08%。

无论秸秆还田和不还田，MC 含量都随土壤深度的增加表现出明显的规律性，总体呈下降趋势。秸秆还田处理土壤 MC 含量在 0~20 cm 土层显著高于秸秆不还田处理，种植 5a、10a 和 15a 棉田土壤 MC 含量分别比秸秆不还田处理下 CK5、CK10 和 CK15 高 15.19%、28.63% 和 28.89%，而在 20~40 cm 和 40~60 cm 土层间 MC 含量总体差值较小。

2.2.2 土壤有机碳矿化速率特征 土壤有机碳矿化速率(MR)能在一定水平上表示土壤有机碳矿化的情况。根据图 2 得出，长期秸秆还田棉田土壤 MR 的变化趋势与 TOC 和 MC 的变化趋势大体一致，即秸秆还田处理下土壤 MR 随着种植年限的增长呈升高的趋势，而秸秆不还田处理下土壤 MR 表现出先增加后降低的变化趋势，CK1 至 CK5 增加，CK5 后开始降低。秸秆还田处理下 0~60 cm 土层 MR 均高于秸秆不还田处理，尤其是表土层 (0~20 cm) 差异最显著。同时各处理不同种植年限 MR 均表现为表土层 0~20 cm 最高，20~40 cm 土层次之，40~60 cm 土层最低，说明土壤 MR 具有随土层加深而减少的变化趋势。

2.2.3 土壤有机碳矿化率特征 土壤有机碳的矿化率指一定时间内土壤有机碳矿化释放的 CO₂-C 数量占土壤总有机碳含量的百分含量，它也能在一定程

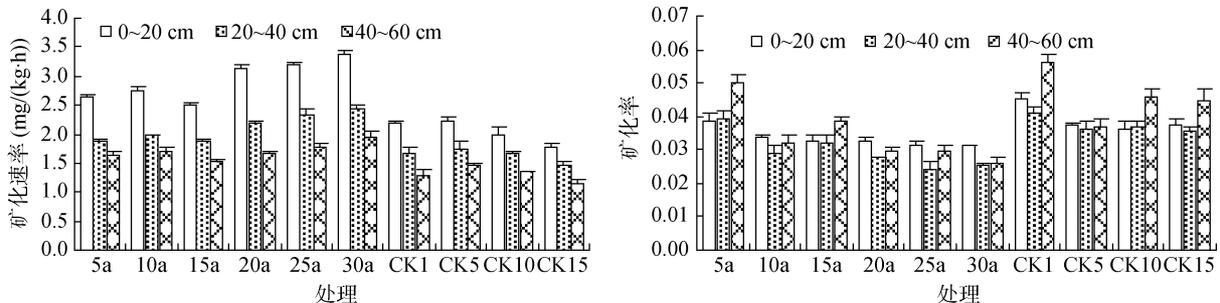


图 2 不同种植年限棉田土壤有机碳矿化速率和矿化率

Fig. 2 Soil mineralizable rate (MR) and MC/TOC in different cropping years

度上反映土壤碳矿化速率。根据图 2 得出, 秸秆还田处理下随着种植年限的增长, 土壤矿化率(MC/TOC)整体上呈降低趋势, 但各种种植年限各土壤层的 MC/TOC 有差异, 种植 5a 和 15a 的 40~60 cm 土层 MC/TOC 比 0~20 cm 和 20~40 cm 高, 其他种植年限则以 0~20 cm 土层的 MC/TOC 略高。相对与秸秆还田处理, 秸秆不还田处理下有机碳矿化率整体上呈稳定趋势。

2.2.4 土壤有机碳矿化过程特征 已知土壤有机碳矿化过程一般能通过土壤有机碳累积矿化排放的 $\text{CO}_2\text{-C}$ 量和速率反映^[5]。根据图 3 得出, 各培养时间段的土壤有机碳累积矿化排放量为秸秆不还田处理较低、秸秆还田处理较高, 且随着培养时间的延长呈增加趋势, 而各种种植年限间的增幅逐渐降低; 排放速

率随培养时间的延长, 第 1 周最高, 之后逐渐下降, 以前 3 周下降最快, 但各种种植年限的下降程度不同, 种植 5a 至 15a 下降最小, 20a 至 30a 下降最大, 且种植 5a 的累积排放量占总排放量的比值, 在第 1、2、3、4 周时分别为 23.21%、44.27%、64.24% 和 82.65%, 种植 30a 的累积排放量占总排放量的比值, 在第 1、2、3、4 周时分别为 22.75%、43.98%、63.70% 和 82.32%, 即各种种植年限的土壤可矿化碳排放主要集中于前 4 周。这表明秸秆还田随种植年限的增长土壤有机碳库的质与量都发生了一定变化, 如种植 5a 至 15a 土壤有机碳含量较低质量较差, 微生物量较少、活动及分解能力较弱, 而种植 20a 至 30a 土壤有机碳含量较高质量较好, 微生物量较多、活动及分解能力较强。

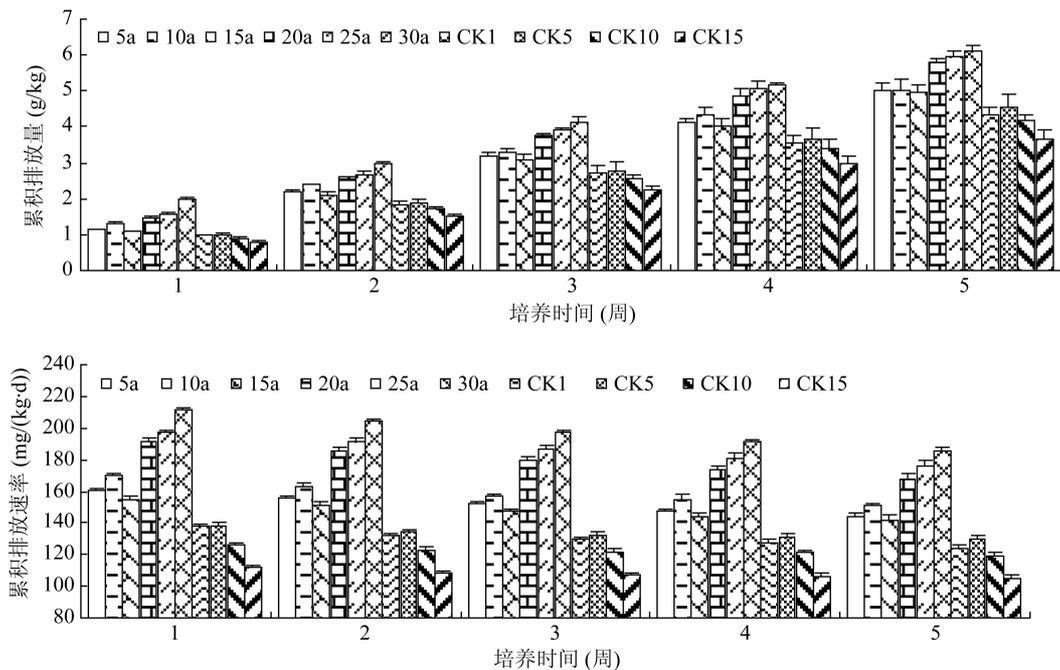


图 3 不同种植年限棉田土壤培养过程中累积 $\text{CO}_2\text{-C}$ 排放量及其排放速率

Fig. 3 Soil cumulative emission amount of $\text{CO}_2\text{-C}$ and its release rate during incubation period in different cropping years

2.3 持续秸秆还田下棉田土壤呼吸熵特征

由图 4 得出, 秸秆还田处理下土壤呼吸熵($q\text{CO}_2$)值较低, 且随着种植年限的增加呈降低趋势, 秸秆不还田处理下土壤 $q\text{CO}_2$ 值相对较高, 且各处理土层间均以 40~60 cm 土层 $q\text{CO}_2$ 值较高, 20~40 cm 土层其次, 0~20 cm 土层最低, 这正与秸秆还田处理下相反; 秸秆还田处理下除种植 5a 土层间差异较大, 其他种植年限各土层间 $q\text{CO}_2$ 均随着秸秆还田时间的增长差异逐渐缩小, 至种植 30a 时, 各土层间无差异。秸秆还田处理下土壤 $q\text{CO}_2$ 随着种植年限的增长呈先增加后保持稳定的趋势, CK1 至 CK5 增加, CK5 至

CK15 间保持稳定。表明秸秆还田处理下随着种植年限的增长, 各土层间受外界干扰逐渐减小, 秸秆不还田处理下随着种植年限的增长受外界干扰较强。

3 讨论

土壤有机碳矿化主要是通过微生物的生理作用转化和释放有机碳, 故该过程可直接影响土壤养分元素的动态变化及土壤质量的稳定, 同时该过程也受到多种外界因素的干扰^[21]。在不同的土地利用管理方法之间土壤总有机碳与可矿化碳含量二者的关系受到多方面影响, 如土壤原有的营养状况、后期有机肥

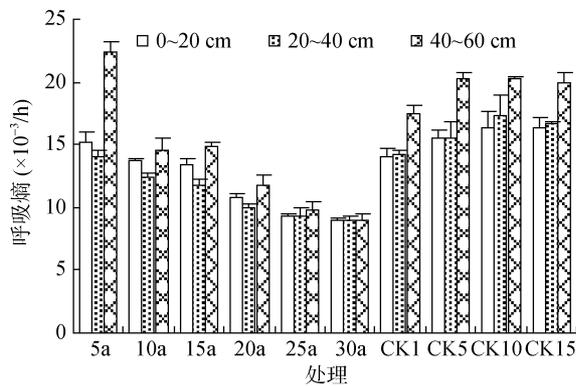


图 4 不同种植年限棉田土壤呼吸熵
Fig. 4 Soil $q\text{CO}_2\text{s}$ in different cropping years

的投入状况及田间管理措施等^[3,22-23]。蔡岸冬等^[24]研究表明不同土地利用下矿化碳的稳定程度存在明显差异,只有当土壤的总有机碳含量累积到一定量后,矿化碳所占比重才会逐渐下降,在农田和草地系统中,土壤中可结合的有机碳尚没有达到饱和状态,故结合碳含量还具有上升潜力;化肥结合秸秆还田措施是能保证土壤肥力持续生产且应用广泛的措施之一,张旭博等^[25]试验表明,土壤有机碳的矿化速率和矿化量的增加可通过施肥措施提高土壤微生物生物量碳和可溶性有机碳含量来实现;多种作物轮作配施有机肥的田间管理体系能更有效地促进土壤对外源碳的固定^[21],秸秆还田后的土壤固碳水平与土壤碳的饱和度相关^[15],秸秆还田后的土壤有机碳含量水平是根据对外源碳的固定量与土壤自身碳的损失量共同决定的,在农田生态系统中,秸秆除了自身有机碳的矿化,也会激发或抑制土壤源性有机碳的矿化降解^[12-13]。本研究结果表明,秸秆还田处理下土壤可矿化碳含量(MC)随种植年限的增加而增加,随土层深度的增加而减少。这与森林植被下随自然交替时间的变化规律一致^[26]。秸秆还田处理下 MR 随种植年限的增加和土层加深与 MC 有相同的变化趋势,这显示相同土层下 MC 与 MR 的值相比于没有秸秆还田,有秸秆还田措施的值较高,该结果与马力等^[27]研究秸秆还田对红壤水稻土中有机碳分布及矿化特征得到的结果相一致。这也反映了土壤有机碳库的质与量在长期连作中都发生了变化,种植 5a 至 15a 有机碳含量较少且质差,种植 20a 至 30a 有机碳含量多且质好。同时在连作与轮作不同耕作模式下,土壤碳矿化规律也有所差异。陈学文等^[28]在玉米大豆轮作与玉米连作试验中发现轮作使最小限制水分范围变大,而土壤有机碳矿化速率与最小限制水分范围呈正相关关系^[29]。Witt 等^[30]试验显示在玉米水稻轮作系统中,土壤碳矿化量为碳投入的 94%~105%,而在

水稻连作系统中为碳投入的 63%~64%。故基于新疆长期连作棉田的普遍现象进行试验,可为长期棉田的碳库管理提供理论依据。

土壤矿化过程对土壤有机碳利用状况可以用矿化率(MC/TOC)和土壤呼吸熵($q\text{CO}_2$)来表征^[31]。秸秆还田处理下,MC/TOC 随秸秆还田年限延长呈一致降低趋势,但种植 5a 至 15a 以 40~60 cm 土层较高,种植 20a 后期则以 0~20 cm 土层略高,与李顺姬等^[4]和 Franzuebbers 等^[32]研究得出的 MC/TOC 随土层加深而递减的结果一致。从矿化过程来看,累积矿化排放的 $\text{CO}_2\text{-C}$ 量随培养时间的延长而增加,其排放速率却先快后慢,与 Zhang 等^[33]认为添加秸秆对土壤有机碳降解的正激发效应一般表现为培养初期高于培养后期的研究结果相似。 $q\text{CO}_2$ 值种植 5a 至 15a 较高、20a 至 30a 较低,与黄宗胜等^[26]研究结果一致,但本试验中 $q\text{CO}_2$ 值比黄宗胜等^[26]所得的值更低,固碳能力强,可能是本试验所研究的是长期连作的棉田土壤,而后者研究对象为喀斯特森林植被土壤所致。这反映了随着秸秆还田及连作年限的增加,土壤矿化对土壤有机碳利用率日渐增加,固碳能力也相应增强。

4 结论

1) 秸秆还田措施增加了棉田土壤 TOC 和 MC 的含量,并可明显提高土壤矿化速率,同时在 0~60 cm 土层,在相同种植年限下秸秆还田处理土壤 TOC、MC 的含量及 MR 均高于秸秆不还田处理,且随着种植年限的增长而上升、随土层深度的加深而下降的变化趋势。可说明连续多年秸秆还田措施能增加棉田土壤可矿化碳的含量,并随着种植年限的增长有向下土层迁移富集的趋势。

2) 持续秸秆还田后棉田随着秸秆还田年限增加土壤有机碳矿化速率、累积矿化排放量增加,但矿化强度呈降低趋势,而无秸秆还田的连作棉田变化趋势则与之相反。这表明棉花秸秆还田措施能增强新疆绿洲连作棉田土壤有机碳含量,同时虽然土壤有机碳能得到持续的补充,但尚未达到饱和状态,然而随着棉花秸秆还田时间延长棉田固碳能力下降。

参考文献:

- [1] Sabrina J, Naoise N, Anne C D, et al. Soil carbon mineralization responses to alterations of microbial diversity and soil structure[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2013, 49(9): 939-948
- [2] Wang X W, Li X Z, Hu Y M, et al. Effect of temperature

- and moisture on soil organic carbon mineralization of predominantly permafrost peatland in the Great Hing'an Mountains, Northeastern China[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2010, 22(7): 1057–1066
- [3] 李玮, 郑子成, 李廷轩, 等. 退耕植茶对川西低山丘陵区土壤有机碳库的影响[J]. *中国农业科学*, 2014, 47(8): 1642–1651
- [4] 李顺姬, 邱莉萍, 张兴昌. 黄土高原土壤有机碳矿化及其与土壤理化性质的关系[J]. *生态学报*, 2010, 30(5): 1217–1226
- [5] 康熙龙, 张旭辉, 张硕硕, 等. 旱地土壤施用生物炭的后效应——水分条件对土壤有机碳矿化的影响[J]. *土壤*, 2016, 48(1): 152–158
- [6] 马天娥, 魏艳春, 杨宪龙, 等. 长期施肥措施下土壤有机碳矿化特征研究[J]. *中国生态农业学报*, 2016, 24(1): 8–16
- [7] 王莲阁, 高岩红, 梁颖涛, 等. 油菜秸秆生物炭对紫色土有机碳矿化和累积效应的影响[J]. *水土保持学报*, 2015, 29(6): 172–177
- [8] 刘艳丽, 丁方军, 谷端银, 等. 不同活化处理腐植酸-尿素对褐土小麦-玉米产量及有机碳氮矿化的影响[J]. *土壤*, 2015, 47(1): 42–48
- [9] 王苑, 宋新山, 王君, 等. 干湿交替对土壤碳库和有机碳矿化的影响[J]. *土壤学报*, 2014, 51(2): 342–350
- [10] 孙玉桃, 廖育林, 郑圣先, 等. 长期施肥对双季稻种植下土壤有机碳库和固碳量的影响[J]. *应用生态学报*, 2013, 24(3): 732–740
- [11] 赵次娴, 陈香碧, 黎蕾, 等. 添加蔗渣生物炭对农田土壤有机碳矿化的影响[J]. *中国农业科学*, 2013, 46(5): 987–994
- [12] Bertrand G, Sabrina J, Gérard B, et al. Evidence that stable C is as vulnerable to priming effect as is more labile C in soil[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2012, 52: 43–48
- [13] Kuzyakov Y. Priming effects: Interactions between living and dead organic matter[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2010, 42(9): 1363–1371
- [14] 陈鲜妮, 岳西杰, 葛玺祖, 等. 长期秸秆还田对壤土层土壤有机碳库的影响[J]. *自然资源学报*, 2013, 27(1): 25–32
- [15] Catherine E S, Keith P, Richard T C, et al. Soil carbon saturation: Implications for measurable carbon pool dynamics in long-term incubations[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, 41(2): 357–366
- [16] 夏海勇, 王凯荣, 赵庆雷, 等. 秸秆添加对土壤有机碳库分解转化和组成的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2014, 22(4): 386–393
- [17] 王苑, 宋新山, 王君, 等. 干湿交替对土壤碳库和有机碳矿化的影响[J]. *土壤学报*, 2014, 51(2): 342–350
- [18] 高菲, 姜航, 崔晓阳. 小兴安岭两种森林类型土壤有机碳库及周转[J]. *应用生态学报*, 2015, 26(7): 1913–1920
- [19] Gulde S, Chung H, Amelung W, et al. Soil carbon saturation controls labile and stable carbon pool dynamics[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2008, 72(3): 605–612
- [20] 李有兵, 把余玲, 李硕, 等. 作物残体与其生物炭配施对土壤有机碳及其自身矿化率的提升[J]. *植物营养与肥料学报*, 2015, 21(4): 943–950
- [21] John T S, Michel A C, Steven B M, et al. Mineralizable soil nitrogen and labile soil organic matter in diverse long-term cropping systems[J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2011, 90(2): 253–266
- [22] Gentile R, Vanlauwe B, Chivenge P, et al. Interactive effects from combining fertilizer and organic residue inputs on nitrogen transformations[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2008, 40(9): 2375–2384
- [23] Kong A Y, Six J. Tracing root vs. residue carbon into soils from conventional and alternative cropping systems[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2010, 74(4): 1201–1210
- [24] 蔡岸冬, 徐香茹, 张旭博, 等. 不同利用方式下土壤矿物结合态有机碳特征与容量分析[J]. *中国农业科学*, 2014, 47(21): 4291–4299
- [25] 张旭博, 徐明岗, 林昌虎, 等. 施肥对红壤有机碳矿化特征的影响[J]. *贵州农业科学*, 2001, 39(6): 99–102
- [26] 黄宗胜, 喻理飞, 符裕红. 喀斯特森林植被自然恢复过程中土壤可矿化碳库特征[J]. *应用生态学报*, 2012, 23(8): 2165–2170
- [27] 马力, 杨林章, 肖和艾, 等. 长期施肥和秸秆还田对红壤水稻土氮素分布和矿化特性的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2011, 17(4): 898–905
- [28] 陈学文, 王农, 时秀焕, 等. 基于最小限制水分范围评价不同耕作方式对土壤有机碳的影响[J]. *生态学报*, 2013, 33(9): 2676–2683
- [29] Yoo G, Wander M M. Influence of tillage practices on soil structural controls over carbon mineralization[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2006, 70: 651–659
- [30] Witt C, Cassman K G, Olk D C, et al. Crop rotation and residue management effects on carbon sequestration, nitrogen cycling and productivity of irrigated rice systems[J]. *Plant and Soil*, 2000, 225: 263–278
- [31] 匡崇婷, 江春玉, 李忠佩, 等. 添加生物炭对红壤水稻土有机碳矿化和微生物生物量的影响[J]. *土壤*, 2012, 44(4): 570–575
- [32] Franzluebbers J A, Stuedemann A J, Schomberg H H, et al. Soil organic C and N pools under long-term pasture management in the southern Piedmont Usa[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2000, 32(4): 469–478
- [33] Zhang W, Wang X, Wang S. Addition of external organic carbon and native soil organic carbon decomposition: A meta-analysis[J]. *PLoS ONE*, 2013, 8(2): e54779

Effect of Continuous Straw Returning on Soil Mineralizable Carbon Pool of Long-term Cotton-cropping Field in Oasis of Xinjiang

WEI Fei¹, HUANG Jinghua², MA Fangxia¹, JING Feng¹, LIU Jianguo^{1*}

(1 Key Laboratory of Oasis Ecology Agriculture of Xinjiang Production and Construction Corps, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832003, China; 2 The Bureau of Agriculture, Forestry and Animal Husbandry in Karamay District, Karamay, Xinjiang 834000, China)

Abstract: Based on the long-term experiment in long-term cotton-cropping field, this paper analyzed the characteristics of soil organic carbon mineralization and the change patterns of soil organic carbon release under the conditions with and without straw returning. The results showed that straw returning increased soil total organic carbon (TOC) and mineralizable carbon (MC) contents and mineralization rate (MR) in 0 – 60 cm soil layer, and trended to increase with the increase of cropping year but to decrease with the increase of soil depth. With the increase of continuous cropping years, soil organic carbon MC and cumulative mineralized emissions (CO₂-C emissions) showed an increasing tendency, however, mineralization intensity showed a decreasing tendency with straw returning, while showed opposite tendencies without straw returning. It demonstrates that straw returning promotes soil biological activity, compensates soil organic carbon but not enough to stabilize or increase carbon sequestration capacity of long-term continuous cotton-cropping field of Xinjiang Oasis.

Key words: Straw returning to soil; Cotton field; Soil mineralizable carbon; Characteristics of carbon pool