

不同培肥措施对矿区复垦土壤活性有机碳的影响

高继伟¹, 谢英荷¹, 李廷亮^{1,2*}, 焦欢¹, 李彦¹, 何冰¹, 李顺¹

(1. 山西农业大学 资源与环境学院, 山西 太谷 030801;

2. 山西农业大学 农业资源与环境国家级实验教学示范中心, 山西 太谷 030801)

摘要:【目的】了解矿区复垦土壤活性有机碳随培肥年限的变化规律。【方法】依托山西省襄垣县采煤塌陷区复垦土壤长期定位试验基地,研究了不同复垦年限(1、3、7 a)下不施肥(CK)、单施化肥(CF)、单施有机肥(M)、有机无机配施(MCF)4种配施措施对土壤水溶性有机碳(WSOC)、可溶性有机碳(DSOC)、易氧化态有机碳(ROOC)和轻组有机碳(LSOC)4种活性有机碳量的影响。【结果】随着复垦年限的增加,采煤塌陷区复垦土壤各活性有机碳量显著提高,4种活性有机碳量之间的大小顺序总体表现为DSOC>LSOC>ROOC>WSOC。经7 a复垦,水溶性有机碳、可溶性有机碳、易氧化态有机碳和轻组有机碳较复垦1 a土壤分别提高20%~100%、10.31%~68.29%、60%~186.83%和15.29%~141.28%。不同处理间,单施有机肥对WSOC、DSOC、ROOC和LSOC量的增加作用优于有机无机配施和单施化肥,与不施肥相比,增加幅度分别为8.33%~166.67%、19.78%~48.74%、23.7%~121.76%和38.24%~189.29%。4种活性有机碳之间均具有显著相关性,其中DSOC与ROOC和LSOC之间的相关系数分别达0.952 4和0.901 8。【结论】总体上,采煤塌陷区表土剥离覆土型复垦土壤,在等养分量投入的情况下,单施有机肥有利于土壤活性有机碳的增加和土壤养分循环。

关键词:复垦土壤; 水溶性有机碳; 可溶性有机碳; 易氧化态有机碳; 轻组有机碳

中图分类号:S153.6

文献标志码:A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2017.0652

高继伟,谢英荷,李廷亮,等. 不同培肥措施对矿区复垦土壤活性有机碳的影响[J]. 灌溉排水学报,2018,37(5):6-12.

0 引言

长期以来,我国煤炭资源的过度开采导致大面积土地破坏。目前,全国因采煤区地面塌陷造成的土地破坏达400多万 hm^2 ,并且仍以 $3.3\sim 4.7$ 万 hm^2/a 的速度增加。严重影响我国的耕地安全,破坏了生态环境。土地复垦是我国实现耕地总量动态平衡、缓解人地矛盾的重要途径。培肥土壤是矿区土地复垦的最终目标,而增加土壤活性有机碳量是提高矿区复垦土地肥力的关键^[1]。在土壤生态系统中,有机碳不仅为植物提供养分,还在土壤碳循环中起着更为重要的作用。活性有机碳在有机碳中所占比例较小,但对影响因子的反应比有机碳更加敏感,能作为土壤有机碳变化的指示指标^[2-3]。施肥对土壤活性有机碳和土壤质量均有重大影响,不同培肥措施下土壤总有机碳量及活性有机碳量的变化,国内学者在栗褐土^[4]、黑土^[5-7]、灰漠土以及红壤^[7]等不同土壤类型上已有较深入研究。施用化肥(尤其是氮肥)可有利于易氧化态有机碳(ROOC)的积累^[8],但会减少WSOC量^[9]。施用有机肥可总体上提高土壤活性有机碳量,且随有机肥施用量的增加,水溶性有机碳(WSOC)^[9-11]、可溶性有机碳(DSOC)^[12]、易氧化态有机碳(ROOC)^[13]、轻组有机碳(LSOC)^[14]的量也随之增加。在施用有机肥的基础上配施一定量的化肥,较单施有机肥更有利于土壤活性有机碳的转化和积累^[13]。目前,关于土壤有机碳组分的研究多集中在一般农田土壤上,而有关采煤塌陷区复垦土壤有机碳组分尤其是活性有机碳方面的研究相对很少。为此,依托山西省落江沟煤矿采煤塌陷复垦土壤长期定位试验基

收稿日期:2017-10-26

基金项目:国家自然科学基金项目(41401342)

作者简介:高继伟(1991-),男,山西吕梁人。硕士研究生,主要从事土壤肥力与环境研究。E-mail: m18234887686@163.com

通信作者:李廷亮(1982-),男,山西大同人。副教授,博士,主要从事土壤肥力与环境研究。E-mail: litingliang021@126.com

地,研究等养分条件下单施化肥、单施有机肥和有机无机配施对不同年限复垦土壤(1、3、7 a)WSOC、DSOC、ROOC和LSOC等4种有机碳量的影响,明确矿区复垦土壤活性有机碳变化规律,以期为矿区复垦土壤肥力的提升提供一定参考。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验区位于山西省长治市襄垣县王桥镇洛江沟村(36°28'11.95"N、113°00'52.57"E,海拔970 m)。该地区年平均降水量为532.8 mm,年平均气温为9.5℃,无霜期为160 d,属于暖温带半湿润大陆性季风气候区。选取的复垦1、3、7 a土壤分别于2014、2012、2008年开始复垦,复垦土地采用表土剥离模式(将30 cm表层土壤剥离后,挖高垫低,在底土平整后,将剥离的表土均匀覆盖于平整的底土上)。根据当地气候条件和农民种植习惯,复垦过程中每年种植玉米,且玉米秸秆在收获时采用联合收割技术粉碎直接翻压还田,秸秆粉碎长度约10 cm,翻压深度约20 cm。复垦1、3、7 a时,土壤理化性状见表1。

表1 不同复垦年限耕层土壤基本理化性状

复垦年限	碱解氮量/(mg·kg ⁻¹)	有效磷量/(mg·kg ⁻¹)	速效钾量/(mg·kg ⁻¹)	有机质量/(g·kg ⁻¹)	硝态氮量/(mg·kg ⁻¹)	铵态氮量/(mg·kg ⁻¹)	pH值
1 a	40.95	4.39	123.09	9.93	10.84	2.87	8.24
3 a	40.96	7.07	140.54	12.18	15.47	4.97	8.26
7 a	48.67	10.17	161.54	13.64	13.41	6.43	8.13

1.2 供试材料

供试玉米品种为大丰30。化肥分别为尿素(含N量46.67%)、过磷酸钙(含P₂O₅量16.40%)和氯化钾(含K₂O量60.10%)。有机肥为完全腐熟的鸡粪,含有机质量为25.80%,含N量为1.67%,含P₂O₅量为2.46%,含K₂O量为1.35%,含Cu量为24.34 mg/kg,含Pb量为1.88 mg/kg,Cd、Cr、Hg、As均未检出。

1.3 试验设计

试验采用双因素随机区组设计,设复垦年限和施肥2个因素,复垦年限设1、3、7 a共3个水平,施肥设不施肥对照(CK)、单施化肥(CF)、单施有机肥(M)、有机肥+化肥配施(MCF)4个水平,除CK外,其他3个处理养分用量相同(表2)。共12个处理,每个处理3

表2 不同施肥处理的肥料用量

处理	过磷酸钙	尿素	氯化钾	有机肥
对照(CK)	0	0	0	0
化肥(CF)	1 155	438	163.5	0
有机肥(M)	0	0	0	12 000
有机肥+化肥(MCF)	577.5	219	82.5	6 000

次重复,试验小区的面积为(宽4.4~4.5 m,长22~23 m)。试验于2015年4月27日施肥,4月28日播种,9月30日收获,播种密度为60 000株/hm²。并于次年播种前(2016年4月25日)采集耕层土壤,分析活性有机碳。

1.4 测定项目与方法

称取过2 mm筛的风干土2 g,采用水土质量比5:1进行浸提,25℃蒸馏水恒温震荡30 min,然后在4 000 r/min下离心15 min,然后抽滤过0.45 μm滤膜,用TOC仪测定提取液中的水溶性有机碳量^[10]。

采用1 mol/L的KCl溶液浸提,其他均与水溶性有机碳相同,测定土壤可溶性有机碳^[15]。

称取过0.5 mm筛的风干土样2 g,将样品转移至50 mL的塑料离心管中,以不加土样作为空白。向离心管中加入20 mL的333 mmol/L的高锰酸钾溶液,将离心管以200 r/min的速度振荡60 min,然后在2 000 r/min的转速下离心5 min,将上清液用去离子水以1/250倍稀释,然后用分光光度计在565 nm处测定吸光值,进而测得土壤易氧化态有机碳^[16]。

称取过0.25 mm筛的风干土样5 g,放入已知质量的100 mL离心管中,加入25 mL 1.8 g/cm³的溴化锌溶液,以200 r/min的速度震荡60 min,然后在3 000 r/min的速度下离心10 min,取出离心管后倒掉上清液,重复以上过程3次,然后用95%的乙醇洗涤3次,再用蒸馏水洗涤2次,将盛有土样的离心管置于60℃下烘48 h,最后将土样过0.149 mm筛,测定土壤有机碳量,即为重组有机碳,重组有机碳采用重铬酸钾容量-外加热法测定(也可用有机碳自动分析仪测定)。轻组有机碳采用差值法求得^[15],轻组有机碳量=总有机碳量-重组有机碳量。

采用Excel 2010软件对数据进行整理制图,采用DPS7.05软件进行方差分析和显著性检验($P<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同年限复垦土壤水溶性有机碳的变化特征

土壤水溶性有机碳是指直径小于 $0.45\ \mu\text{m}$ 微生物可以直接利用的活性炭源,是土壤环境变化的敏感指标^[17-19]。由图1可知,WSOC总体随复垦年限的增加而增加。复垦1 a和复垦3 a土壤,除单施有机肥处理外其他处理的WSOC量差异不显著,原因可能是复垦年限短,有机碳的积累转化程度低。但经过7 a复垦,各处理下的WSOC量均显著提高,较复垦1 a土壤提高20%~100%。对于复垦1 a土壤,不同处理间WSOC量差异不显著,平均值为 $0.13\ \text{g/kg}$ 。对于复垦3 a土壤,CK、CF和MCF处理WSOC量差异仍不显著,维持在 $0.16\ \text{g/kg}$ 左右,而单施有机肥处理下的WSOC量分别较CK、CF和MCF处理高116.67% ($P<0.05$)、100% ($P<0.05$)、100% ($P<0.05$)。复垦7 a土壤下,以单施化肥处理(CF)和单施有机肥处理(M)的WSOC量最高,分别为 $0.26\ \text{g/kg}$ 和 $0.25\ \text{g/kg}$,较CK和MCF处理分别高44.44%、44.44%和38.89%、38.89%,但不同处理间差异不显著。

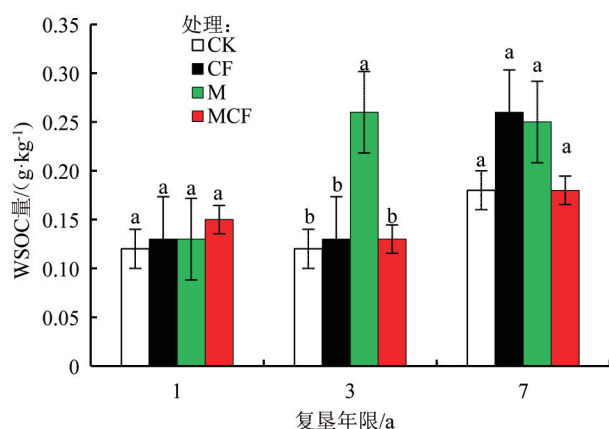


图1 不同年限土壤水溶性有机碳的变化特征

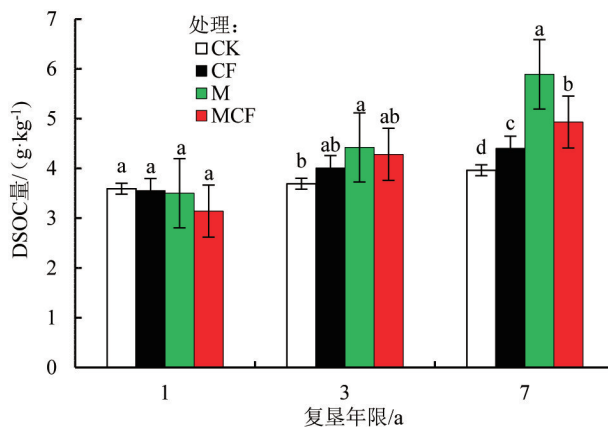


图2 不同年限土壤可溶性有机碳的变化特征

2.2 不同年限复垦土壤可溶性有机碳的变化特征

土壤可溶性有机碳是指土壤中能随盐溶液浸提出来的容易移动,活性比较高,稳定性差土壤碳素,是土壤微生物活动的能源和土壤养分的驱动力,受施肥耕作等因素的影响^[20-23]。由图2可知,DSOC总体表现为随复垦年限的增加而增加。复垦3 a土壤各处理下的DSOC量较复垦1 a的土壤高2.79%~36.31%,但差异不显著。经过7 a复垦,各处理下的DSOC量则明显增加,较复垦1 a土壤提高10.31%~68.29%,较复垦3 a提高7.32%~33.26%。对于复垦1 a土壤,不同处理间DSOC量差异不显著,平均值为 $3.45\ \text{g/kg}$ 。对于复垦3 a土壤,以单施有机肥处理的DSOC量最高,较CK高19.78% ($P<0.05$),而CF、M和MCF处理之间差异不显著。对于复垦7 a土壤,仍以单施有机肥处理(M) DSOC量最高,为 $5.89\ \text{g/kg}$,分别较CK、CF和MCF处理高48.74% ($P<0.05$)、33.86% ($P<0.05$)和19.47% ($P<0.05$),且不同处理间差异达显著水平。

2.3 不同年限复垦土壤易氧化态有机碳的变化特征

土壤易氧化有机碳(ROOC)是指能被 $333\ \text{mmol/L KMnO}_4$ 氧化的有机质,ROOC周转时间较短,土壤碳库容量变化主要发生在ROOC上,可指示土壤有机质的早期变化^[24-26]。由图3可知,ROOC类同于土壤水溶性有机碳和可溶性有机碳,总体随复垦年限的增加而增加。但增加幅度高于土壤水溶性有机碳和可溶性有机碳,各处理下复垦3 a土壤的ROOC量较复垦1 a土壤提高了30.26%~99.4%,复垦7 a土壤ROOC量较复垦3 a和复垦1 a土壤分别提高10.77%~95.45%和60%~186.83%。对于复垦1 a土壤,不同处理间ROOC量差异不显著,平均值为 $1.5\ \text{g/kg}$ 。对于复垦3 a土壤,CK、CF和MCF处理ROOC量差异仍不显著,维持在 $2.09\ \text{g/kg}$ 左右,而单施有机肥处理下的ROOC量分别较CK、CF和MCF处理高70.77% ($P<0.05$)、42.92% ($P<0.05$)和68.18% ($P<0.05$)。7 a复垦土壤下,仍以单施有机肥处理(M)的ROOC量最高,为 $4.79\ \text{g/kg}$,较CK、CF和MCF处理分别高121.76% ($P<0.05$)、68.66% ($P<0.05$)和23.77% ($P<0.05$)。

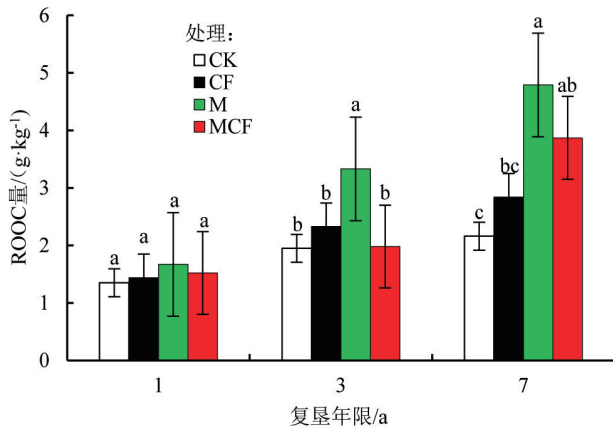


图3 不同年限土壤易氧化态有机碳的变化特征

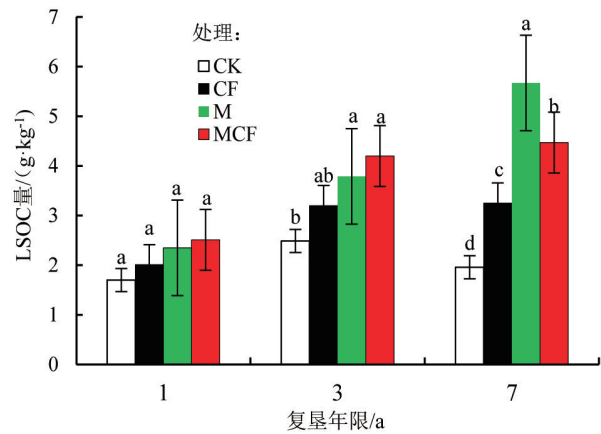


图4 不同年限土壤轻组有机碳的变化特征

2.4 不同年限复垦土壤轻组有机碳的变化特征

土壤轻组有机碳是指与矿质颗粒结合相对松散、分解速度相对较快的非保护性组分,被认为是土壤生物调节过程的重要基质和土壤肥力指标^[27-30]。由图4可知,LSOC总体表现为随复垦年限的增加而增加。复垦3 a土壤各处理的LSOC量较复垦1 a土壤均显著提高了46.47%~67.33%。经过7 a复垦,各处理下LSOC量达1.96~5.67 g/kg,较复垦3 a土壤增加1.56%~49.6%,其中以单施有机肥处理增加幅度最高。对于复垦1 a土壤,不同处理间以有机肥化肥配施处理的LSOC量最高,为2.51 g/kg,但不同处理间差异不显著。复垦3 a土壤,以单施有机肥处理(CF)和有机无机配施处理(MCF)的LSOC量最高,分别为3.79 g/kg和4.2 g/kg,较CK和CF处理分别高18.44%~52.21%和31.25%~68.67%。7 a复垦土壤下,各处理WSOC量差异达显著性水平,以单施有机肥处理(M)的WSOC量最高,为5.67 g/kg,分别较CK、CF和MCF处理高189.29%($P<0.05$)、74.46%($P<0.05$)和26.85%($P<0.05$)。

2.5 4种活性有机碳之间的相关性

鉴于4种活性有机碳相似的变化规律,为了更充分了解采煤塌陷区复垦土壤各活性有机碳之间的相互关系,对3个复垦年限样品的4种活性有机碳进行相关性分析,结果见表3。由表3可知,除了WSOC和LSOC之间相关性达显著性水平外,其余任何2种活性有机碳之间的相关性均达极显著水平,相关系数在0.679 3以上,其中DSOC与ROOC和LSOC之间的相关系数分别达0.952 4和0.901 8。通过回归分析可知,可溶性有机碳(Y)和易氧化有机态碳(X)的拟合方程为: $Y=0.663\ 3X+2.497\ 5$ ($n=12$),可溶性有机碳(Y)和轻组有机碳(X)的拟合方程: $Y=1.4501x-2.8315$ ($n=12$),因此完全可以通过可溶性有机碳表征不同处理下易氧化态有机碳和轻组有机碳。4种活性有机碳量之间的大小顺序表现为DSOC>LSOC>ROOC>WSOC。

表3 4种活性有机碳相关性分析结果

项 目	水溶性有机碳(WSOC)	可溶性有机碳(DSOC)	易氧化态有机碳(ROOC)	轻组有机碳(LSOC)
水溶性有机碳(WSOC)	1			
可溶性有机碳(DSOC)	0.679 3**	1		
易氧化态有机碳(ROOC)	0.764 6**	0.952 4**	1	
轻组有机碳(LSOC)	0.567 8*	0.901 8**	0.880 4**	1

注 *表示显著相关($P<0.05$);**表示极显著相关($P<0.01$), $n=12$ 。

3 讨论

土壤活性有机碳是土壤中有效性较高、易被土壤微生物分解矿化的有机碳,土壤活性有机碳的生态环境效应主要表现在其对调节土壤养分流有很大影响,与土壤内在的生产力高度相关,土壤活性有机碳受土壤耕作施肥管理影响比较大,可以用来评价土壤肥力状况^[31-32]。

本研究表明,随复垦年限增加,各处理均可以提高土壤水溶性有机碳量,不施肥处理下复垦7 a土壤的WSOC量较复垦1 a提高了50%,这与培肥期间地上部玉米秸秆还田有关。已有研究表明,施有机肥较单施化肥更有利于土壤水溶性有机碳的增加,原因是施用有机肥一方面促进根系和地上部分的生长,促进根系分泌物和有机残体归还量^[10,33]。另一方面施用的有机碳源,可以直接在微生物分解作用释放更多的水溶性

有机碳^[9,33-34]。本研究中,短期复垦培肥土壤(复垦3 a),单施有机肥处理下的WSOC量显著高于单施化肥处理和有机无机配施处理的。但经过长期复垦培肥(复垦7 a),单施有机肥处理和单施化肥处理下WSOC量均显著增加,但二者之间无显著差异,原因可能是经过长期复垦培肥,土壤中WSOC量转化已经处于一个动态平衡过程。也有研究表明,单施化肥处理下水溶性有机碳没有显著变化^[35]或者是显著降低^[36],这与土壤本身的肥力水平和微生物对有机碳的消耗分解程度有关。

本研究中,复垦1 a土壤不同处理的DSOC量差异不显著,但不施肥处理的DSOC量略高于其他施肥处理。已有研究^[37]也有类似的研究结果,并指出可能是因为施肥促进了土壤微生物活动,并加剧了土壤中DSOC的微生物利用消耗。本研究表明,经过3 a和7 a的复垦,土壤可溶性有机碳量均以单施有机肥处理最高,一方面是因为长期施有机肥提高了土壤中的有机碳,进而增加土壤可溶性有机碳量^[23],另一方面长期施用有机肥促进了土壤微生物量的增加,而这些微生物死亡裂解会提高土壤可溶性有机碳量^[38-39]。

研究表明,各处理ROOC量均随复垦年限的增长得到提高,不同复垦年限均以单施有机肥处理的ROOC量最高,有机无机肥配施次之。有机肥进入土壤后易被分解利用,其活性组分进入土壤,使得有机碳中易氧化态有机碳量大幅提升。已有相关研究结果^[8]也表明施用有机肥能够显著提高各层土壤易氧化有机碳量,且施用有机肥和有机无机肥配施效果优于不施有机肥处理。原因可能是有机肥的施用增加了外源有机碳投入,为微生物提供了充足的碳源,促进微生物的生长,降低了土壤中有机质的氧化稳定性^[40-41],能明显提高土壤易氧化态有机碳量^[33,42]。此外,复垦3 a单施化肥处理的土壤ROOC量高于有机无机配施处理的,但是在复垦7 a后,有机无机配施处理的ROOC高于单施化肥处理的,原因可能是施用化肥土壤中有机碳的来源主要是作物根茬等残留物,土壤有机碳很难积累,同时长期施用化肥加速了土壤有机质分解,降低土壤活性有机质量^[32]。

试验条件下,除不施肥处理,其他处理的LSOC量均表现为随复垦年限的增加而增加。可能原因是连续多年施肥可以改善土壤的速效养分状况从而促进作物根系和地上部的生长,增加进入土壤的根系分泌物和有机残体数量,影响土壤微生物的数量和活性,进而影响土壤轻组有机碳的数量^[14]。同时本研究发现,施肥处理下复垦3 a的LSOC量较复垦1 a的显著增长,增幅为46.47%~67.33%,而复垦7 a的LSOC量较复垦3 a的增幅降为1.56%~49.6%。原因一方面可能是随着时间的推移,施入土壤的有机肥或根系分泌物和有机残体归还产生的活性有机物质逐渐被分解而减少,各处理土壤中轻组有机碳的增加幅度也呈逐渐下降趋势^[29]。另一方面可能是随复垦年限的增加,当土壤活性有机碳达到一定程度后,在微生物作用下,转化为稳定有机碳组分,使土壤轻组有机碳量下降^[36,43]。

4 结 论

采煤塌陷区复垦土壤,土壤活性有机碳总体上表现为随着复垦年限的增加而显著提高。4种活性有机碳量之间的关系总体表现为DSOC>LSOC>ROOC>WSOC,经过7 a复垦,水溶有机碳、可溶性有机碳、易氧化态有机碳和轻组有机碳较复垦1 a土壤分别提高20%~100%、10.31%~68.29%、60%~186.83%和15.29%~141.28%。复垦土壤水溶性有机碳以单施化肥和单施有机肥处理最高,达0.26 g/kg,但不同处理间差异不显著。可溶性有机碳和轻组有机碳提高率均表现为单施有机肥>有机无机肥配施>单施化肥>CK,且处理间差异均达显著水平。易氧化态有机碳也以单施有机肥处理增加效果最佳,且显著高于单施化肥处理和CK。4种活性有机碳之间均具有显著相关性,其中DSOC与ROOC和LSOC之间的相关性最高,相关系数分别达0.952 4和0.901 8。总体来看,在等养分量投入的情况下,单施有机肥对复垦土壤的活性有机碳的影响最大。

参考文献:

- [1] 乔志伟,洪坚平,李林轩.溶磷真菌及其组合对复垦土壤磷解析和转化的影响[J].灌溉排水学报,2017,36(7):75-79.
- [2] 仪明媛,彭畅,张会民,等.长期施肥下黑土活性有机碳变化特征[J].土壤通报,2012,43(5):1 139-1 144.
- [3] 范继香,郇春花,张强,等.施肥措施对矿区复垦土壤活性有机碳库的影响[J].中国农学通报,2012,28(36):119-123.
- [4] 王翔林,王改兰,赵旭,等.长期施肥对栗褐土有机碳含量及其组分的影响[J].植物营养与肥料学报,2015,21(1):104-111.
- [5] 赵红,吕贻忠,杨希,等.不同配肥方案对黑土有机碳含量及碳库管理指数的影响[J].中国农业科学,2009,42(9):3 164-3 169.
- [6] 刘颖,周连仁,苗淑杰,等.长期施肥对黑土活性有机质的影响[J].水土保持通报,2009,29(3):133-136.
- [7] 张璐,张文菊,徐明岗,等.长期施肥对中国3种典型农田土壤活性有机碳库变化的影响[J].中国农业科学,2009,42(5):1 646-1 655.

- [8] 王艳, 杨丽娟, 周崇峻, 等. 长期施肥对设施蔬菜栽培土壤易氧化有机碳含量及其剖面分布的影响[J]. 水土保持通报, 2010, 30(4):32-35.
- [9] 倪进治, 徐建民, 谢正苗, 等. 不同施肥处理下土壤水溶性有机碳含量及其组成特征的研究[J]. 土壤学报, 2003, 40(5):724-730.
- [10] 李森, 张世熔, 罗洪华, 等. 不同施肥处理土壤水溶性有机碳含量特征及动态变化[J]. 农业环境科学学报, 2013, 32(2):314-319.
- [11] 杨芳, 吴家森, 姜培坤, 等. 不同施肥雷竹林土壤水溶性有机碳动态变化[J]. 浙江林业科技, 2006, 26(3):34-37.
- [12] 胡诚, 曹志平, 胡婵娟, 等. 不同施肥管理措施对土壤碳含量及基础呼吸的影响[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(5):63-66.
- [13] 李平儒, 任卫东, 李志军, 等. 长期施肥管理对壤土全碳和易氧化有机碳的影响[J]. 西北农业学报, 2010, 19(12):194-201.
- [14] 李执强, 汪景宽, 曹宏杰, 等. 水热梯度变化及不同施肥处理对东北地区土壤轻组有机碳、氮的影响[J]. 土壤通报, 2009, 40(5):1 014-1 017.
- [15] 原琴. 不同土地利用方式对土壤碳形态的影响研究[D]. 太原: 山西大学, 2013.
- [16] 佟小刚. 长期施肥下我国典型农田土壤有机碳库变化特征[D]. 北京: 中国农业科学院研究生院, 2008.
- [17] 黄宗胜, 符裕红, 喻理飞, 等. 喀斯特森林自然恢复中土壤微生物量碳与水溶性有机碳特征[J]. 应用生态学报, 2012, 23(10):2 715-2 720.
- [18] 谢芳, 韩晓日, 杨劲峰, 等. 长期施肥对棕壤微生物量碳和水溶性有机碳的影响[J]. 农业科技与装备, 2008(3):10-13.
- [19] 倪进治, 徐建民, 谢正苗, 等. 土壤水溶性有机碳的研究进展[J]. 生态环境, 2003, 12(1):71-75.
- [20] 陈安强, 付斌, 鲁耀, 等. 有机物料输入稻田提高土壤微生物碳氮及可溶性有机碳氮[J]. 农业工程学报, 2015, 31(21):160-167.
- [21] 黄倩, 吴靖霆, 陈杰, 等. 土壤吸附可溶性有机碳研究进展[J]. 土壤, 2015, 47(3):446-452.
- [22] 丁婷婷, 王百群, 何瑞清, 等. 施用秸秆对土壤可溶性有机碳氮及矿质氮的影响[J]. 水土保持研究, 2014, 21(6):72-77.
- [23] 孙冬晔. 施肥措施对红壤性水稻土可溶性有机碳组成及生物有效性的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2014.
- [24] 史康婕, 周怀平, 杨振兴, 等. 长期施肥下褐土易氧化有机碳及有机碳库的变化特征[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(4):542-552.
- [25] 王琳, 李玲玲, 高立峰, 等. 长期保护性耕作对黄绵土总有机碳和易氧化有机碳动态的影响[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(9):1 057-1 063.
- [26] 林晓东, 漆智平, 唐树梅, 等. 海南人工林地、人工草地土壤易氧化有机碳和轻组碳含量初探[J]. 热带作物学报, 2012, 33(1):171-177.
- [27] 马昕昕, 许明祥, 张金, 等. 黄土丘陵区不同土地利用类型下深层土壤轻组有机碳剖面分布特征[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(6):1 366-1 375.
- [28] 张军科, 江长胜, 郝庆菊, 等. 耕作方式对紫色水稻土轻组有机碳的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(14):4 379-4 387.
- [29] 宇万太, 柳敏, 赵鑫, 等. 不同有机物料及其配施对潮棕壤轻组有机碳的动态影响[J]. 土壤通报, 2008, 39(6):1 307-1 310.
- [30] 武天云, SCHOENAU J J, 李凤民, 等. 土壤有机质概念和分组技术研究进展[J]. 应用生态学报, 2004, 15(4):717-722.
- [31] 柳敏, 宇万太, 姜子绍, 等. 土壤活性有机碳[J]. 生态学杂志, 2006, 25(11):1 412-1 417.
- [32] 张瑞, 张贵龙, 姬艳艳, 等. 不同施肥措施对土壤活性有机碳的影响[J]. 环境科学, 2013, 34(1):277-282.
- [33] 吴家梅, 霍莲杰, 纪辉辉, 等. 不同施肥处理对土壤活性有机碳和甲烷排放的影响[J]. 生态学报, 2017, 37(18):6 167-6 175.
- [34] 丁少男, 薛莲, 刘国彬, 等. 施肥处理对黄土丘陵区农田土壤酶活性和水溶性有机碳、氮的影响[J]. 农业环境科学学报, 2015, 34(11):2 146-2 154.
- [35] 贺美, 王立刚, 朱平, 等. 长期定位施肥下黑土碳排放特征及其碳库组分与酶活性变化[J]. 生态学报, 2017, 37(19):6 379-6 389.
- [36] 梁尧, 韩晓增, 宋春, 等. 不同有机物料还田对东北黑土活性有机碳的影响[J]. 中国农业科学, 2011, 44(17):3 565-3 574.
- [37] 王玲莉, 姜翼来, 石元亮, 等. 长期施肥对土壤活性有机碳指标的影响[J]. 土壤通报, 2008, 39(4):752-755.
- [38] 仇少君, 彭佩钦, 荣湘民, 等. 淹水培养条件下土壤微生物生物量碳、氮和可溶性有机碳、氮的动态[J]. 应用生态学报, 2006, 17(11):2 052-2 058.
- [39] 练成燕, 张桃林, 王兴祥, 等. 有机物料对红壤几种形态碳氮及酸度的影响[J]. 中国农业科学, 2009, 42(11):3 922-3 932.
- [40] 吴祥瑞, 张潇潇, 李伏生, 等. 沟灌方式和有机无机氮比例对甜糯玉米种植土壤酶活性和活性有机碳的影响[J]. 土壤, 2014, 46(5):832-838.
- [41] 张春霞, 郝明德, 魏孝荣, 等. 黑垆土长期轮作培肥土壤有机质氧化稳定性的研究[J]. 土壤肥料, 2004(3):10-12, 16.
- [42] 王丹丹, 周亮, 黄胜奇, 等. 耕作方式与秸秆还田对表层土壤活性有机碳组分与产量的短期影响[J]. 农业环境科学学报, 2013, 32(4):735-740.
- [43] 张贵龙, 赵建宁, 宋晓龙, 等. 施肥对土壤有机碳含量及碳库管理指数的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(2):359-365.

Effects of Different Fertilizations on Organic Carbon Activity Following Remediation of a Coal Tailing

GAO Jiwei¹, XIE Yinghe¹, LI Tingliang^{1,2*}, JIAO Huan¹, LI Yan¹, HE Bing¹, LI Shun¹

(1.College of Resources and Environment, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China; 2.National Demonstration Center for Agricultural Resources and Environment Experimental Teaching, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China)

Abstract:【Objective】Improving soil fertility is an effective way to remediate mining tailings and the purpose of this work is to investigate the change in organic carbon activity in a coal tailing following its remediation by different fertilization methods. 【Method】Field experiment was conducted on a long-term experimental site to examine the effects of different fertilizations on change in activity of four organic carbons: water soluble organic carbon (WSOC), soluble organic carbon (DSOC), easy-oxidized organic carbon (ROOC) and light fraction organic carbon (LSOC), following remediation of the coal tailing formed due to collapse of a coal mining in Xiangyuan of Shanxi Province. We considered four fertilizations: single fertilizer application (CF), single organic manure application (M), combination of fertilizer and organic manure (MCF); the control was no fertilization. The carbon activity was measured between one to seven years after the remediation. 【Result】The contents of the active or-

ganic carbons increased significantly as time elapsed in the order DSOC>LSOC>ROOC>WSOC. Seven years after the remediation, the content of water soluble organic carbon, soluble organic carbon, easily-oxidized organic carbon and light fraction organic carbon was 20%~100%, 10.31%~68.29%, 60%~186.83% and 15.29%~141.28% respectively, higher than those measured one year after the remediation. Among all treatments, a single manure application was most efficient, improving, the content of WSOC, DSOC, ROOC and LSOC by 8.33%~166.67%, 19.78%~48.74%, 23.7%~121.76% and 38.24%~189.29%, respectively, compared to the CK. The four active organic carbons were correlated, with a correlation coefficient for ROOC and LSOC, and ROOC and DSOC being 0.952 4 and 0.901 8, respectively. **【Conclusion】** When remediating coal tailing by removing the top-soil, an single manure application was most efficient to enhance organic carbon activity and improve nutrients cycling compared with other fertilizations if the amount of nutrients applied to the tailing was the same.

Key words: reclaimed soil; water-soluble organic carbon; soluble organic carbon; easily oxidized organic carbon; light fraction organic carbon

责任编辑:刘春成

(上接第5页)

Effects of Different Irrigations and Nitrogen Applications on Distribution of Water, Nitrogen and Salt in Saline Soil as Well as the Yield of Oat

ZHANG Peng¹, JIANG Jing^{1*}, MA Juanjuan¹, YANG Zhiping^{2,3}, WANG Yongliang^{2,3}

(1. College of Water Resources Science and Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China;

2. Institute of Agriculture Environment and Resources Research, Shanxi Academy of Agricultural Science, Taiyuan 030031, China;

3. Key Laboratory of Soil Environment and Nutrient Resources of Shanxi Province, Taiyuan 030031, China)

Abstract: **【Objective】** Excessive application of nitrogen fertilizer and irrigation is an issue facing agricultural production in inland arid temperate regions in China, and the aim of this study is to experimentally investigate the optimal fertigation schedule to control the contents of water, nitrogen and salt in root zone to safeguard oat production in salt-affected soils in these regions. **【Method】** The work was based on pot experiment and considered combinations of two irrigation schedules (sufficient irrigation, W1, and insufficient irrigation, W2) and three nitrogen applications (high, N60, medium, N30, and low, N10). In each treatment, we measured the contents of water, nitrogen and salt in the pots. **【Result】** Increasing nitrogen application led to an increase in soil salinity, and insufficient irrigation could significantly reduce salt accumulation. Insufficient irrigation at mature and seedling stages with high nitrogen application could reduce salt content by 14.3%. When the amount of nitrate and ammonium application was the same and at the high level, insufficient irrigation in treatment W2N10 increased nitrate and ammonium contents in the pots by 13.8% and 34.2% respectively compared with sufficient irrigation in treatment W1N10. We did not find noticeable reduction in dry yield after reducing nitrogen application from 60 kg/hm² to 10 kg/hm², and found that a combination of 30 kg/hm² nitrogen application with 100~140 mm irrigation sustained high yield. **【Conclusion】** Reducing fertilizer application along with insufficient irrigation can safeguard oat production in salt-affected soils without giving rise to soil salinity in temperate regions in China. The results of our pot experiments indicated that the rational fertigation is 10 kg/hm² of nitrogen and 100~140 mm of irrigation.

Key words: oat; nitrate; ammonium; electrical conductivity; water and nitrogen coupling; yield

责任编辑:刘春成