

不同恢复年限对土壤有机碳组分及团聚体稳定性的影响*

闫靖华 张凤华[†] 谭斌 杨海昌

(石河子大学/新疆生产建设兵团绿洲生态农业重点实验室, 新疆石河子 832003)

摘要 通过干旱区典型内陆河玛纳斯河流域绿洲田间定位实验,研究了盐渍化弃耕地不同复垦年限对土壤活性有机碳组分及对团聚体稳定性的影响。结果表明,恢复初期降低了土壤微生物生物量碳(MBC)和易氧化有机碳(LOC)的含量,降低幅度小。随着恢复年限的增加,土壤有机碳(SOC)含量增加,显著提高了土壤 MBC 和 LOC 的含量以及土壤水溶性有机碳(WSOC)和土壤热水溶性有机碳(HWSOC)的含量和分配比例,其中恢复 1 年、5 年和 10 年的土壤 HWSOC 分别较弃耕地高 61.04%、143.5% 和 132.4%。连续人工种植后 SOC 和大团聚体(> 0.25 mm)含量增加,土壤团聚体稳定性增强,其中恢复 10 年 0~5 cm、5~10 cm 土层 > 0.25 mm 团聚体占 57.30% 和 56.50%,团粒指数下降至 43.00%。相关分析表明,> 0.25 mm 水稳性团聚体的含量与土壤有机碳(SOC)和土壤 HWSOC 达到显著正相关,干旱区盐渍化绿洲农田土壤 HWSOC 对维持土壤团聚体稳定性的贡献明显。

关键词 复垦年限;活性有机碳;团聚体稳定性;盐渍化弃耕地

中图分类号 S153.6 **文献标识码** A

由于人类活动的干扰、土地的大面积开垦、过度放牧和森林的滥砍滥伐等原因,导致土壤生产力发生严重的退化现象^[1],是土壤碳平衡遭到破坏及土壤碳库亏缺的重要原因^[2]。退化土壤损失碳的 60%~75% 能够通过生态恢复重新固定^[3-4]。欧美诸国对农田土壤实行保护性耕作使得农业土壤碳库呈现稳定增长的趋势^[5],退耕还林具备提升土壤碳库及其质量的潜力^[6],砍伐后经过 26 年的天然林更新,森林碳库恢复到原来的 76%^[7],东北黑土地土壤开垦前 50 年,黑土耕层及犁底层总有机碳及其组分含量下降迅速,土壤有机碳的氧化稳定性系数变化强烈^[8]。低有机碳含量的自然土壤经过垦殖后,有利于干旱荒漠区绿洲棉田土壤有机碳的积累^[9],贺兰山农牧场不同种植年限紫花苜蓿在种植 5 年时有机碳增加显著^[10],而荒草地在开垦种植水稻后,从荒草地至 80 年水田,土壤有机碳含量随着利用年限的延长而增加,增加幅度降低^[11]。

土壤有机质与团聚体关系密切,对土壤团聚体的数量和大小分布有重要影响^[12],其含量的提高有

利于土壤结构的形成及增强土壤结构的稳定性^[13-14],而团聚体的形成反过来影响土壤有机碳的分解^[15],与土壤有机碳相比,土壤活性有机碳是土壤有机碳不稳定的部分,能够较敏感的反映土壤有机碳的变化。活性有机碳的提高能够促进土壤团聚体稳定性^[16],而不同种类活性有机碳的物质组成和性质有较大差异,对土壤团聚体稳定性可能产生不同的影响。所以,农业土壤中有有机碳活性组分含量的变化对土壤了解土壤质量及土壤养分循环方面有着重要的作用^[17-18]。

新疆属干旱荒漠地区,占新疆土地总面积 4% 的绿洲却承载了新疆 95% 以上的人口,绿洲农田土壤质量至关重要。由于长期不合理的灌溉制度及技术破坏了原有的水盐平衡,在强蒸发条件的影响下促使土地次生盐渍化的加剧导致土地生产力下降,大面积农田被迫弃耕,并产生一系列的生态问题^[12,19]。自 2000 年随着滴灌技术在新疆地区大规模应用,大面积盐渍化弃耕地得以复垦,对土壤有机碳产生重要影响。为此本文以干旱区玛纳斯河

* 国家自然科学基金项目(31171507)、国际科技合作项目(2011DFA93140)和高等学校博士学科点专项科研基金(20126518110002)资助

[†] 通讯作者:张凤华(1970—),女,教授,博士生导师,主要从事干旱区资源与环境研究。E-mail: zfh2000@126.com

作者简介:闫靖华(1988—),女,安徽萧县人,硕士研究生,研究方向为绿洲农业资源高效利用。E-mail: yanjinghua305@126.com

收稿日期:2013-03-08;收到修改稿日期:2013-05-21

流域盐渍化弃耕地及人工复垦棉田为研究对象,研究农田土壤有机碳及其活性组分和团聚体稳定性变化,对于正确评价干旱区盐碱地人工开垦后土壤质量演变以及制定农业可持续发展的管理措施等均具有重要的理论和实践意义。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

试验设在新疆玛纳斯河流域的冲积扇地带十户滩镇,地理位置处于欧亚大陆中心,准噶尔盆地南缘,远离海洋,干旱少雨,蒸发量大,年平均气温 $6.6\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温达到 $3\ 490\text{ }^{\circ}\text{C}$,年降水量 $110\sim 200\text{ mm}$,年蒸发量 $1\ 500\sim 2\ 000\text{ mm}$,无霜期 $148\sim 187\text{ d}$,属于典型的大陆性气候。该区域处于冲积洪积扇缘,地下水位高,长期处于“盐随水来,水去盐

留”的状态,强烈的蒸发更是加速了盐分的表聚;再加上不合理灌溉加剧了盐渍化进程,形成大面积的重度盐渍化土。

1.2 样地处理与样品采集

试验点为新疆玛纳斯河流域冲积扇缘地带。选择因盐渍化严重而弃耕的土地 (75 hm^2) 作为样地(弃耕年限为 27 年),对样地进行不同年限的恢复重建:(1)原始弃耕地(保留 5 hm^2):作为恢复前的对照处理;(2)恢复 1 年 (20 hm^2):在原始弃耕地上垦殖种植棉花;(3)恢复 5 年 (20 hm^2):种植棉花 5 年;(4)恢复 10 年 (30 hm^2):种植棉花 10 年。

试验地土壤类型为灰漠土,盐渍化弃耕地作为垦殖恢复前的对照,地表植被覆盖度低,主要植被类型有碱蓬草 (*Suaeda glauca Bunge*)、盐爪爪 (*Kalidium foliatum*)、芦苇 (*Phragmites communis*) 试验开始时土壤的主要理化性质见表 1。

表 1 供试土壤基本理化性质

Table 1 Basic physical and chemical properties of soils studied

处理 Treatment	pH	电导率 Electric conductivity (mS cm^{-1})	容重 Bulk density (g cm^{-3})	速效磷 Olsen phosphorus (mg kg^{-1})	碱解氮 Alkalyzale nitrogen (mg kg^{-1})	有机质 Organic matter (g kg^{-1})
弃耕地 ^①	7.96	6.72	1.49	21.20	37.84	5.32
恢复 1 年 ^②	8.02	4.56	1.38	12.73	32.74	4.59
恢复 5 年 ^③	7.85	2.84	1.38	18.42	41.01	5.22
恢复 10 年 ^④	8.58	0.64	1.37	14.53	40.16	5.66

① Deserted field, ② 1 year after reclamation, ③ 5 years after reclamation, ④ 10 years after reclamation

2012 年 4 月进行采样,每种恢复模式按照 $0\sim 5$ 、 $5\sim 10$ 、 $10\sim 20$ 、 $20\sim 40$ 、 $40\sim 60\text{ cm}$ 分别挖剖面 (30 cm 宽 100 cm 深),然后在不同土层采集大小一致的原状土样,装入方形塑料盒带回实验室;同时用自封袋采集 5 点土样混合,混合土样采用“四分法”,保留 1 kg ,每种模式按照同样的方法采取 3 个重复,共 60 个土样。将方形塑料盒中土样过 8 mm 的土筛,最后风干土样,以便保存进行土壤团聚体及其他稳定性分析,自封袋土壤样品带回实验室,置于通风、阴凉、干燥的室内风干,分别过 1 和 0.25 mm 筛孔以供测定。

1.3 分析方法

土壤有机碳 (SOC) 测定:采用重铬酸钾容量法—外加热法。

土壤可溶性有机碳的提取与测定:称量 4 g 风干土壤样品于 50 ml 离心管中,加入 20 ml 蒸馏水,然后放入振荡机振荡 30 min ,在离心机以上以 $3\ 000\text{ r}$

min^{-1} 离心 10 min ,过滤上清液,定容至 25 ml ,此组分称为水溶性有机碳 (WSOC);再加 20 ml 蒸馏水至该离心管中,在涡旋混合器上振荡 10 s ,将该离心管放在 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 水浴中 24 h ,取出后,以 $3\ 000\text{ r min}^{-1}$ 离心 10 min ,过滤,用 20 ml 蒸馏水再冲洗残余物 3 次,最后将提取物及洗涤液定容至 100 ml ,将提取液在 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冷藏中保存待测,此组分称为热水溶性有机碳 (HWSOC)^[20]。

土壤易氧化有机碳 (LOC) 测定:称量过 0.25 mm 筛的风干土样 2 g 于 50 ml 离心管中,加入 $333\text{ mmol L}^{-1}\text{KMnO}_4$ 25 ml ,振荡处理 1 h ,在离心机以上以 $4\ 000\text{ r min}^{-1}$ 离心 5 min ,取上清液,用去离子水按 $1:250$ 稀释,在分光光度计 565 nm 波长处进行比色。由不加土壤的空白与土壤样品的吸光率之差,计算出高锰酸钾浓度的变化,进而计算出氧化的碳量或有机质^[21]。

土壤团聚体分级:采用湿筛法。称取 100 g 风

干土,在水中浸泡 5 min,然后将土样依次通过 0.25 mm、0.053 mm 的筛子,得到三种粒级的团聚体: > 0.25 mm, 0.053 ~ 0.25 mm, < 0.053 mm。最后将各粒级的团聚体 60 °C 下烘干,并称重^[22]。

1.4 数据处理

采用 Microsoft Office Excel 2003 和 SPSS 11.5 软件进行数据处理和分析。

2 结果与讨论

2.1 不同恢复年限土壤有机碳的变化

如图 1a 所示,盐渍化弃耕地随着垦殖年限的增加,土壤有机碳含量呈略微有所降低然后逐渐上升的趋势。在 0~60 cm 土层,恢复 1 年有机碳含量较弃耕地低 1.33%,可能是土壤开垦减少了原始土壤

植被数量,输入土壤中的有机碳含量减少,此外,人工垦殖改变了原始土壤环境状态,为微生物提供了更为适宜的温度和湿度条件,从而使土壤有机碳的分解速率增强^[23];恢复 5 年和恢复 10 年的有机碳含量分别较恢复 1 年的高 13.77% 和 23.36%,其中恢复 10 年的有机碳含量较弃耕地高 21.72%;说明干旱区盐渍化弃耕地复垦可显著提高土壤有机碳含量,且人工种植年限越长,对土壤有机碳的提升作用越明显。这是由于随着垦殖年限的增加,增加了土壤水分含量,人为输入的有机肥和秸秆还田使得植物残体以及代谢分泌物与土壤充分混合,改变原有的土壤结构和生物、化学性质,土壤有机碳含量增加。图 1b 所示,弃耕地及不同恢复年限农田在 0~20 cm 土层土壤有机碳变化明显,40~60 cm 土层土壤有机碳含量稳定,无明显的差异。

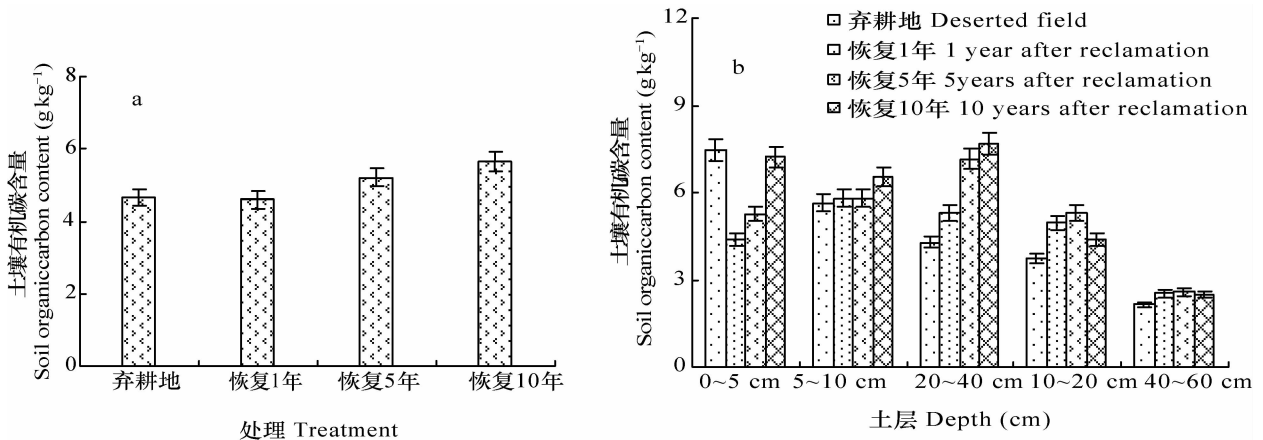


图 1 不同处理 0~60 cm 土壤有机碳含量(a)及不同土层有机碳含量差异(b)

Fig.1 Difference between treatments in soil organic carbon content in 0~60 cm soil layer (a) and in other soil layers (b)

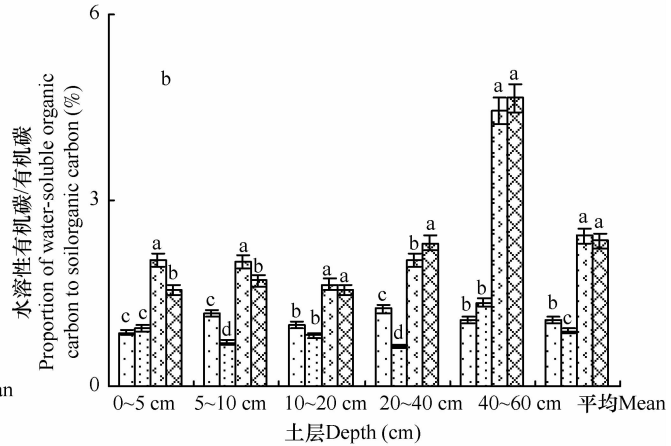
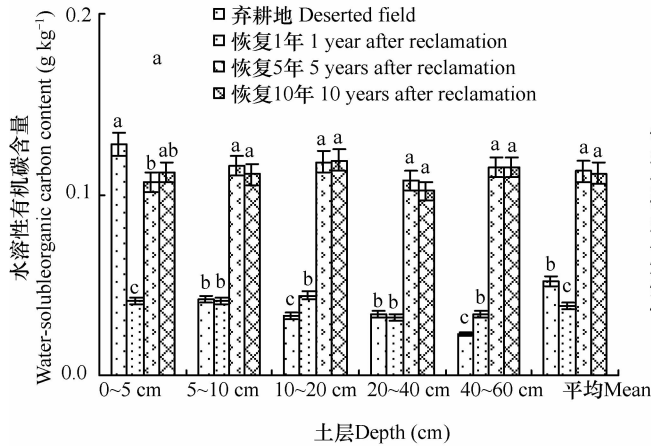
2.2 不同恢复年限土壤有机碳组分的变化

土壤活性有机碳组分是土壤微生物可以直接利用的碳源,土壤可溶性有机碳占土壤有机碳的百分比是表征土壤活性有机碳库周转的较好指标^[24]。由图 2a 可以看出,不同恢复年限土壤 WSOC 与弃耕地之间存在显著性差异,弃耕地经过恢复垦殖后先降低后增加了土壤 WSOC 的含量和分配比例,其中恢复 1 年土壤 WSOC 含量较弃耕地降低了 26.15%,而恢复 5 年和恢复 10 年分别增加了 116.9% 和 115.0%,盐渍化弃耕地随着恢复年限的增加,土壤有机碳的含量显著增加,有机碳质量得以改善。

弃耕地 0~5 cm 土层 WSOC 含量最高,复垦农田 10~20 cm 土层土壤 WSOC 最高。随着土层加深,土壤 WSOC 基本呈下降趋势。弃耕地 WSOC 占

土壤有机碳(SOC)的比例随土层深度的增加变化趋势不明显(图 2b),而经过垦殖恢复后,土壤可溶性有机碳占土壤有机碳的比例随土层深度的增加而增加,说明弃耕地经过人工开垦种植,土壤孔隙度变大,滴灌时土壤入渗速率高,入渗量大,通过滴灌淋溶进入下层的土壤可溶性有机碳增多。

土壤热水溶性有机碳(HWSOC)是土壤化学测定中最敏感的指示剂,反映了不同土地管理措施下土壤有机质的变化。本文对不同恢复年限 HWSOC 进行方差分析(图 3a),研究表明不同恢复年限土壤 HWSOC 与弃耕地间存在显著性差异,随着恢复年限的增加土壤 HWSOC 先增加后降低,但均显著高于弃耕地。其中恢复 1 年、恢复 5 年和恢复 10 年分别较弃耕地高 61.04%、143.5% 和 132.4%。



注: 不同小写字母表示不同处理间差异显著($p < 0.05$), 下同 Note: Different lowercase letters mean significant differences at 0.05 levels. The same below

图2 不同恢复年限土壤水溶性有机碳含量(a)及其占土壤有机碳的比例(b)

Fig.2 Content of WSOC (a) and its proportion to SOC (b) in fields different in reclamation history

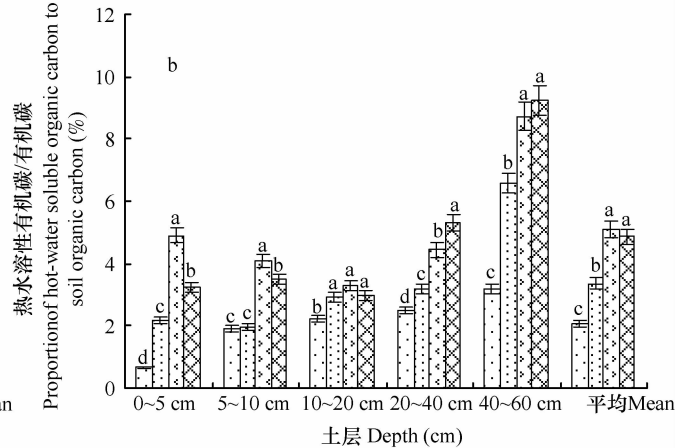
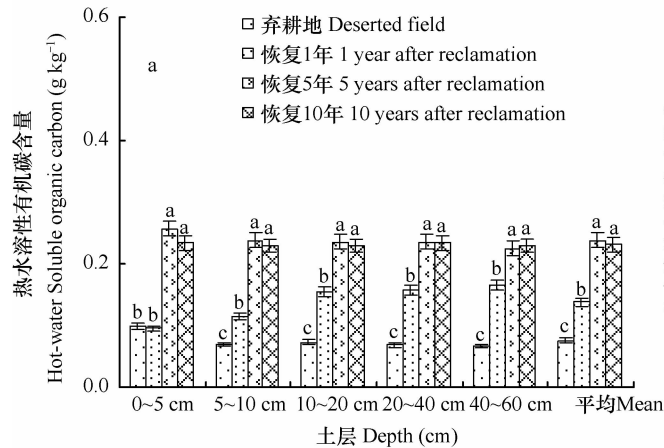


图3 不同恢复年限土壤热水溶性有机碳含量(a)及其占土壤有机碳的比例(b)

Fig.3 Content of HWSOC (a) and its proportion to SOC (b) in fields different in reclamation history

弃耕地和恢复1年0~10 cm土层土壤HWSOC含量与其他各层土壤存在显著性差异,其他恢复年限土壤HWSOC随土层深度增加变化不显著,这可能是由于在耕作管理的过程中滴灌造成的,因为土壤热水溶性有机碳含量在土壤剖面上的分布受淋溶的影响很大。

2.3 不同恢复年限土壤微生物生物量碳以及易氧化有机碳的变化

土壤微生物生物量碳(MBC)和易氧化有机碳(LOC)是土壤活性有机碳的重要组成部分,不仅在土壤碳循环中起着重要作用,还可以作为衡量土壤肥力高低的指标。从图4可明显看出,土壤MBC和LOC以恢复10年土壤为最高,恢复5年次之,但二者差异不显著,恢复1年最低。与原始弃耕地相比,

恢复10年土壤MBC和LOC分别增加了20.2%和16.4%。而恢复1年土壤MBC和LOC,较原始弃耕地分别降低了4.7%和46.4%。

2.4 不同恢复年限土壤团聚体含量及团粒指数变化

良好的土壤结构和稳定的团聚体对改善土壤肥力、增加植物生产率、增强孔隙度和降低可蚀性具有重要作用。由表2可以看出:盐碱弃耕地、恢复1年土壤各粒径团聚体占总团聚体的比例均以>0.25 mm的含量最小,最小达到了9.7%;而在恢复5年、恢复10年土壤各粒径团聚体的比例均以>0.25 mm的含量最大,最大达到65.48%,表明水稳性团聚体均以大团聚体为主。

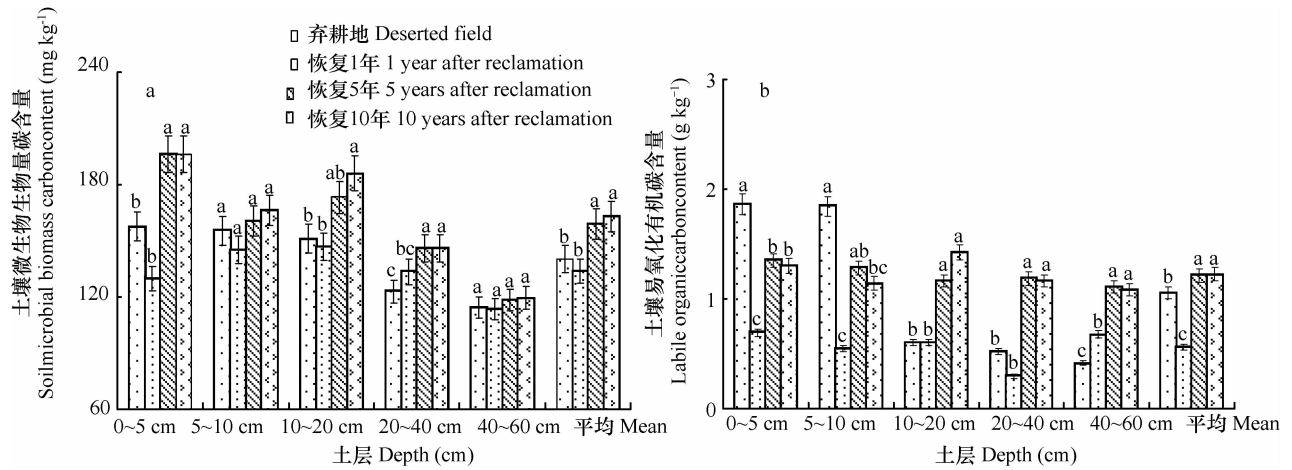


图4 不同恢复年限土壤微生物生物量碳(a)和易氧化有机碳(b)的变化

Fig. 4 Changes in contents of soil MBC (a) and LOC (b) as affected by reclamation history

表2 不同恢复年限不同粒径团聚体的重量比例

Table 2 Proportions in weight of soil aggregates different in size as affected by reclamation history

恢复年限 Reclamation history	土层深度 Depth (cm)	粒径占总重的百分比 Proportion in weight of soil aggregates different in particle size to the soil (%)			团聚指数 Aggregate index (%)
		> 0.25 mm	0.053 ~ 0.25 mm	< 0.053 mm	
		弃耕地 Deserted field	0 ~ 5	25.12	
	5 ~ 10	33.85	42.43	23.72	66.15
	10 ~ 20	43.18	23.63	33.19	56.82
	20 ~ 40	9.71	39.46	50.84	90.29
	40 ~ 60	12.99	30.71	56.30	87.01
恢复1年 1 year after reclamation	0 ~ 5	39.45	26.09	34.46	60.55
	5 ~ 10	38.27	22.18	39.55	61.73
	10 ~ 20	36.82	27.81	35.37	63.18
	20 ~ 40	43.84	27.88	28.27	56.16
	40 ~ 60	34.73	28.40	36.87	65.27
恢复5年 5 years after reclamation	0 ~ 5	45.20	33.17	21.63	54.80
	5 ~ 10	50.63	24.36	25.01	49.37
	10 ~ 20	65.84	22.86	11.30	34.16
	20 ~ 40	43.51	21.76	34.73	56.49
	40 ~ 60	30.13	29.19	40.68	69.87
恢复10年 10 years after reclamation	0 ~ 5	57.28	22.66	20.06	42.72
	5 ~ 10	56.46	21.40	22.14	43.54
	10 ~ 20	36.58	40.48	22.94	63.42
	20 ~ 40	56.78	25.02	18.20	43.23
	40 ~ 60	10.02	50.77	39.21	89.98

弃耕地 0 ~ 5 cm、5 ~ 10 cm 土层 > 0.25 mm 团聚体占供试土壤的 25.0% 和 34.0%，团聚指数高达 75.0%，表明弃耕地团聚体的稳定性较差；恢复 10

年 0 ~ 5 cm、5 ~ 10 cm 土层 > 0.25 mm 团聚体占供试土壤的 57.3% 和 56.5%，团聚指数下降至 43.0%。盐碱弃耕地经人工恢复后，团聚体稳定性

有所提高。因此,在干旱荒漠区,自然土壤开垦有利于土壤水稳性团聚体含量的增加,从而改善了土壤物理性状。

2.5 土壤团聚体稳定性与土壤有机碳及其组分的相关性分析

土壤团聚体的稳定性是土壤物理质量的综合体现^[25-26],土壤团粒指数和水稳性团聚体含量是表达土壤团聚体稳定性的重要指标。将弃耕地不同恢复年限下所测定的土壤水稳性团聚体和团粒指数与土壤有机碳及其组分进行相关性分析结果显

示(表 3),土壤团粒指数与土壤有机碳及其组分呈负相关关系,其中与水溶性有机碳和热水溶性有机碳的负相关性达到显著水平。除 MBC 外,土壤 > 0.25 mm 的水稳性团聚体含量与土壤有机碳及其组分呈显著正相关关系,特别是与土壤热水溶性有机碳间的相关性达到极显著水平,说明土壤 HWSOC 对土壤团聚体稳定性的贡献率较土壤 WSOC、MBC 和 SOC 更明显。所以,在干旱区盐渍化土壤条件下,HWSOC 能更好地表明土壤团聚体的稳定性,从而反映土壤质量的变化。

表 3 土壤有机碳组分与土壤水稳性团聚体 (> 0.25 mm) 和团粒指数的相关性

Table 3 Correlations of aggregate index with soil organic carbon components and water-stable aggregates (> 0.25 mm)

团聚体稳定性指标 Index of aggregate stability	土壤有机碳组分 Organic carbon components				
	SOC	WSOC	HWSOC	MBC	LOC
水稳性团聚体 Water-stable aggregates (>0.25 mm)	0.593 *	0.673 *	0.886 **	0.559	0.731 *
团粒指数 Aggregate index (%)	-0.510	-0.453 *	-0.785 *	-0.312	-0.549

注: * 表示差异显著 ($p < 0.05$), ** 表示差异极显著 ($p < 0.01$) Note: * and ** mean significant difference at $p < 0.05$, $p < 0.01$, respectively

3 结 论

本研究表明土壤有机碳在盐碱弃耕地随着复垦年限的延长,土壤有机碳增加,恢复 5 年及 10 年土壤有机碳含量较弃耕地的分别高 12.26% 和 21.72%。土壤 WSOC 和 HWSOC 表现为在恢复初期略微有所降低,而在随着垦殖年限的延长表现为增加趋势,与原始弃耕地相比,土壤 MBC 和 LOC 在恢复初期有所降低,然后升高,在恢复 10 年,土壤 MBC 和 LOC 值最大。恢复 10 年 0~5 cm 与 5~10 cm 土层 > 0.25 mm 团聚体占供试土壤的 57.3% 和 56.5%,团粒指数下降至 43.0%。说明盐碱弃耕地经人工垦殖后,团聚体稳定性有所提高。相关分析表明,土壤 SOC、WSOC 和 HWSOC 与土壤水稳性团聚体和团粒指数均有显著的相关性,尤其是 HWSOC 呈极显著相关性,说明土壤 HWSOC 对土壤团聚体稳定性的贡献率较土壤 WSOC、MBC 和 SOC 更明显。

参 考 文 献

[1] Janzen H H. Carbon cycling in earth systems—a soil science perspective. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2004, 104 (3): 399—417

[2] 赵生才. 我国农田土壤碳库演变机制及发展趋势. *地球科学进展*, 2005, 20(5): 587—590. Zhao S C. Study on evolution

mechanism, and development tendency of organic carbon stock in agricultural soils of China (In Chinese). *Advance in Earth Sciences*, 2005, 20(5): 587—590

- [3] Lai R. Soil management and restoration for C sequestration to mitigate the accelerated greenhouse effect. *Progress in Environmental Science*, 1999, 1(4): 307—326
- [4] Takata Y, Funakawa S, Yanai J, et al. Influence of crop rotation system on the spatial and temporal variation of the soil organic carbon budget in northern Kazakhstan. *Soil Science and Plant Nutrition*, 2008, 54(1): 159—171
- [5] West T O, Post W M. Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation. *Soil Science Society of America Journal*, 2002, 66(6): 1930—1946
- [6] 韩新辉, 佟小刚, 杨改河, 等. 黄土丘陵区不同退耕还林地土壤有机碳库差异分析. *农业工程学报*, 2012, 28(12): 223—229. Han X H, Tong X G, Yang G H, et al. Difference analysis of soil organic carbon pool in returning farmland to forest in loess hilly area (In Chinese). *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28(12): 223—229
- [7] 吴仲民, 李意德, 曾庆波, 等. 尖峰岭热带山地雨林 C 素库及皆伐影响的初步研究. *应用生态学报*, 1998, 9(4): 341—344. Wu Z M, Li Y D, Zeng Q B, et al. Carbon pool of tropical mountain rain forests in Jianfengling and effect of clear cutting on it (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1998, 9(4): 341—344
- [8] 于君宝, 刘景双, 王金达, 等. 不同开垦年限黑土有机碳变化规律. *水土保持学报*, 2004, 18(1): 27—30. Yu J B, Liu J S, Wang J D, et al. Organic carbon variation law of black soil during different tillage period (In Chinese). *Journal of Soil and Water Conservation*, 2004, 18(1): 27—30

- [9] 徐万里, 唐光木, 盛建东, 等. 垦殖对新疆绿洲农田土壤有机碳组分及团聚体稳定性的影响. 生态学报, 2010, 30(7): 1773—1779. Xu W L, Tang G M, Sheng J D, et al. Effect of cultivation on organic carbon fractionation and aggregate stability in Xinjiang oasis soils (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(7): 1773—1779
- [10] 吴旭东, 张晓娟, 谢应忠, 等. 不同种植年限紫花苜蓿人工草地土壤有机碳及土壤酶活性垂直分布特征. 草业学报, 2013, 22(1): 245—251. Wu X D, Zhang X J, Xie Y Z, et al. Vertical distribution characters of soil organic carbon and soil enzyme activity in alfalfa field with different growing years (In Chinese). *Acta Prataculturae Sinica*, 2013, 22(1): 245—251
- [11] 李忠佩, 杨德涌. 不同利用年限红壤水稻土有机碳和养分含量的粒级分布变化. 土壤学报, 2009, 46(1): 70—77. Li Z P, Yang D Y. Distribution of organic carbon and nutrient contents in particle-size fractions of a cultivation chronosequence of paddy soils in subtropical China (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2009, 46(1): 70—77
- [12] Eynard A, Schumacher T E, Lindstrom M J, et al. Effects of agricultural management systems on soil organic carbon in aggregates of U *stolls* and U *sterts*. *Soil and Tillage Research*, 2005, 81(2): 253—263
- [13] 王晓娟, 贾志宽, 梁连友, 等. 旱地施有机肥对土壤有机质和水稳性团聚体的影响. 应用生态学报, 2012, 23(1): 159—165. Wang X J, Jia Z K, Liang L Y, et al. Effects of organic manure application on dry land soil organic matter and water stable aggregates (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2012, 23(1): 159—165
- [14] 窦森, 李凯, 关松. 土壤团聚体中有机质研究进展. 土壤学报, 2011, 48(2): 412—418. Dou S, Li K, Guan S. A review on organic matter in soil aggregates (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2011, 48(2): 412—418
- [15] Six J, Elliott E T, Paustian K. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: A mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biology & Biochemistry*, 2000, 32(14): 2099—2103
- [16] 韩琳, 张玉龙, 金烁, 等. 灌溉模式对保护地土壤可溶性有机碳与微生物量碳的影响. 中国农业科学, 2010, 43(8): 1625—1633. Han L, Zhang Y L, Jin S, et al. Effect of different irrigation patterns on soil dissolved organic carbon and microbial biomass carbon in protected field (In Chinese). *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(8): 1625—1633
- [17] Chantigny M H, Angers D A, Prevost D, et al. Dynamics of soluble organic C and C mineralization in cultivated soils with varying N fertilization. *Soil Biology & Biochemistry*, 1999, 31(4): 543—550
- [18] Magill A H, Aber J D. Variation in soil net mineralization rates with dissolved organic carbon additions. *Soil Biology & Biochemistry*, 2000, 32(5): 597—601
- [19] Fan H, Pan X D, Zhang F H, et al. Evaluation of soil environment after saline soil reclamation of Xinjiang Oasis. *Agronomy Journal*, 2008, 100(2): 471—476
- [20] Ghani A, Dexter M, Perrott K W. Hot-water extractable carbon in soils: A sensitive measurement for determining impacts of fertilization, grazing and cultivation. *Soil Biology & Biochemistry*, 2003, 35(9): 1231—1243
- [21] Blair G J, Lefroy R D B, Lisle L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. *Australian Journal of Agricultural Research*, 1995, 46: 1459—1466
- [22] Six J, Elliott E T, Paustian K, et al. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. *Soil Science Society of America Journal*, 1998, 62(5): 1367—1377
- [23] Prentice K C, Fung I Y. The sensitivity of terrestrial carbon storage to climate change. *Nature*, 1990, 346: 48—51
- [24] 康健, 孟宪法, 许妍妍, 等. 不同植被类型对滨海盐碱土壤有机碳库的影响. 土壤, 2012, 44(2): 260—266. Kang J, Meng X F, Xu Y Y, et al. Effects of different vegetation types on soil organic carbon pool in coastal saline-alkali soils of Jiangsu Province (In Chinese). *Soils*, 2012, 44(2): 260—266
- [25] Bronick C J, Lal R. Soil structure and management: A review. *Geoderma*, 2005, 124(1/2): 3—22
- [26] 杨长明, 欧阳竹, 董玉红. 不同施肥模式对潮土有机碳组分及团聚体稳定性的影响. 生态学杂志, 2005, 24(8): 887—892. Yang C M, Ouyang Z, Dong Y H. Organic carbon fractions and aggregate stability in aquatic soil under different fertilization (In Chinese). *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(8): 887—892

EFFECTS OF RECLAMATION HISTORY OF DESERTED SALINIZED FARMLANDS ON ORGANIC CARBON COMPOSITION AND AGGREGATE STABILITY OF THE SOILS

Yan Jinghua Zhang Fenghua[†] Tan Bin Yang Haichang

(Key Laboratory of Oasis Ecology Agriculture of Xinjiang Bingtuan, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832003, China)

Abstract A stationary field experiment was conducted in an oasis along the Manas River, which is a typical inland river in the arid region of Northwest China to study effects of reclamation history of deserted salinized farmlands on labile organic carbon composition and aggregate stability of the soils. Results show that soil microbial biomass C (MBC) and soil labile carbon (LOC) decreased somewhat in content in the first years after the reclamation. And then soil organic carbon (SOC), especially MBC and LOC, increased in content and soil water soluble organic carbon (WSOC) and hot-water soluble organic carbon (HWSOC) in content and in proportion as well, in the years that followed. In the 1st, 5th, and 10th year after the reclamation, soil hot-water soluble organic carbon (HWSOC) in the field was 61.04%, 143.5% and 132.4%, respectively, higher than that in the control. After years of continuous cultivation, SOC and soil macroaggregate (>0.25 mm) increased in content and the latter in stability, too. In the field 10 years old in reclamation history, soil aggregate (>0.25 mm) accounted for 57.30% and 56.50%, respectively, in the 0~5 cm and 5~10 cm soil layer, but the aggregate index decreased to 43.00%. Correlation analysis shows that the content of soil water-stable aggregate (>0.25 mm) was significantly positively related to SOC and HWSOC and the contribution of the latter is significant to maintaining the stability of soil aggregates in salinized oasis farm fields in the arid region.

Key words Reclamation history; Labile organic carbon; Aggregate stability; Deserted salinized field

(责任编辑:陈德明)