

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

徐万里^{1,*}, 唐光木^{1,2}, 盛建东², 梁 智¹, 周 勃¹, 朱 敏¹

(1. 新疆农科院土壤肥料与农业节水研究所, 新疆 乌鲁木齐市 830091; 2. 新疆农业大学草业与环境科学学院, 新疆 乌鲁木齐市 830052)

摘要: 土壤有机碳是土壤质量变化的重要指标, 土壤活性有机碳组分在土壤质量变化方面发挥重要作用。采用有机碳分组技术, 研究了干旱荒漠区自然土壤开垦对绿洲农田土壤有机碳活性组分及团聚体稳定性的影响。结果表明: 低有机碳含量的自然土壤垦殖后, 有利于干旱荒漠区绿洲棉田土壤有机碳的积累, 且垦殖(0—5a)增加显著, 年均增加在 0.65 g kg^{-1} 以上, 上升幅度为 76%—286%, 5a 后维持在相对平衡的水平; 土壤活性有机碳、轻组有机碳在垦殖 0—5a 显著增加, 平均增加 72% 和 99%, 5a 后下降; 颗粒有机碳则表现出垦殖 0—10a 明显增加, 增加在 275% 以上, 10a 后下降; 土壤水稳性团聚体含量随垦殖年限的延长显著增加, 0—20a 内较自然土壤提高了 75%。垦殖可能是干旱区绿洲农田潜在碳汇的重要影响因素; 但随垦殖年限延长, 土壤有机碳活性组分下降, 土壤质量又存在一定的退化风险。

关键词: 垦殖; 活性有机碳; 轻组有机碳; 颗粒有机碳; 团聚体稳定性

Effects of cultivation on organic carbon fractionation and aggregate stability in Xinjiang oasis soils

XU Wanli^{1,*}, TANG Guangmu^{1,2}, SHENG Jiandong², LIANG Zhi¹, ZHOU Bo¹, ZHU Min¹

1 Institute of Soil and Fertilizer & Agricultural Sparing Water, Xinjiang Academy of Agricultural Science, Urumqi 830091, China

2 Faculty of Grassland & Environment Sciences, Xinjiang Agricultural University, Xijiang Urumqi 830052, China

Abstract: Soil organic carbon is an important indicator of soil quality, and labile organic carbon fractions play an important role in soil quality development. In this study, fractionation of labile soil organic carbon was performed to evaluate the effects of cultivation practices on the changes of organic carbon and aggregate stability in soils of the desert area. The results showed that organic carbon content significantly increased in 1—5 years after the low organic matter natural soil was converted to cotton field, with an mean annual increase of 0.65 g kg^{-1} or increased by 76%—286%. Soil organic C attained relative balance after 5 years of cultivation. Soil labile organic carbon (LOC) and light fraction organic carbon (LFOC) increased significantly in 1—5 years, with an average increment of 72%—99%, but declined after 5 years of cultivation. Particulate organic carbon (POC) significantly increased in 1—10 years of in cultivation, with a maximum increase of 275%, and declined after 10 years of cultivation. Water-stable aggregates (WSA) in soil increased significantly with cultivation, up to 75% as compared with the original natural soil in 0—20 years. These results indicate that cultivation has an important influence on soil organic carbon pools of the oasis farmland. Long-term of cultivation of the desert soil tends to decrease labile organic carbon and subsequently may potentially cause degradation of soil quality, which merits further attention.

Key Words: cultivation; labile organic carbon; light fraction organic carbon; particulate organic carbon; aggregate stability

基金项目: 国家科技支撑资助项目(2006BAD05B07); 国家重点基础研究发展计划前期专项资助项目(2006CB708402)

收稿日期: 2009-02-07; **修订日期:** 2009-05-05

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wxu2005@163.com

农田土壤是一种重要的土地利用类型,世界农田土壤面积达 17 亿 hm^2 ,碳储量约为 170Pg ($1\text{Pg} = 10^{15}\text{g}$),达到全球陆地碳贮量的 10%^[1]。农田土壤有机碳含量和组成不仅反映了土壤有机质水平,而且还与农田质量的可持续能力密切相关^[2]。自然土壤开垦后,频繁的农业耕作、灌溉、施肥等管理措施对土壤有机碳的变化产生深刻影响,其中林地转化为农田,土壤有机碳损失 25%—40%^[3];草地开垦为农田,土壤碳素损失 30%—50%^[4]。人类耕种活动会造成农田土壤有机碳含量不同程度的改变。但是,土壤总有机碳只是一个矿化分解和合成的平衡结果^[5],很难及时、准确反映农业管理措施改变导致土壤质量的短期变化,土壤中活性有机碳组分对农业管理措施响应较总有机碳更为迅速。因此,与总有机碳相比,土壤活性有机碳组分更能作为反映因农业管理措施的改变而引起土壤质量早期变化的敏感性指标^[6]。土壤活性有机碳组分主要由易氧化活性有机碳(LOC)、轻组有机碳(LFOC)、颗粒有机碳(POC)等表征。同时,土壤有机碳是土壤团聚体的主要胶结剂之一,是团聚体形成的重要物质基础^[7]。土壤团聚体是土壤有机碳稳定和保护的载体^[8],影响着土壤有机碳的分解转化,进而影响土壤肥力的发挥^[9]。为此,在土壤有机碳含量很低的干旱荒漠区,自然土壤开垦后,土壤有机碳是损失还是累积还没有一个确切的结论,而垦殖对土壤活性有机碳组分和团聚体稳定性的影响有待进一步的研究和探索。

新疆处于干旱荒漠区,土壤类型属于荒漠土壤类型,其成土过程生物累积量少,土壤形成具有原始性。近年来由于人口的增长和人们对食物需求不断增加,自然土壤逐渐被开垦为农田,目前新绿洲面积已占新疆耕地总面积的 35% 左右^[10]。随垦殖时间延长带来土壤质量问题日益受到重视,研究绿洲农田土壤质量的演变规律对于绿洲生态系统的稳定至关重要。为此本文通过对干旱荒漠区自然土壤开垦对绿洲农田土壤有机碳及其活性有机碳组分和团聚体稳定性影响的研究,进一步认识垦殖后土壤质量的变化趋势,寻求自然土壤开垦后合理的耕作垦殖年限,为新疆绿洲农田生态系统的健康发展和农业土壤固碳潜力与生产力稳定长效机制提供理论依据和基础数据资料。

1 材料与方法

1.1 样品采集与处理

以天山南北坡冲积平原区的玛纳斯河流域兰州湾($86^{\circ}06'E, 44^{\circ}30'N$)、库尔勒市普惠农场($85^{\circ}51'E, 41^{\circ}25'N$)和新疆建设兵团农二师 31 团($86^{\circ}56'E, 44^{\circ}52'N$)为典型采样区域,区域范围为 20—50km,按照离绿洲中心距离从远至近选择从自然土壤开垦垦殖 0、5、10、15、20a 等地块为采样点,每个采样点面积大于 1hm^2 ,选取 3 块。自然土壤主要以荒漠和荒漠草原植被为主,主要自然植被为:芨芨草、骆驼刺、琵琶柴、芦苇等。兰州湾土壤类型为灰漠土,普惠农场、31 团为潮土、灌淤土。种植作物为棉花,实行地膜覆盖的栽培模式,并采用秋深翻冬灌、秸秆还田的耕作方式。2007 年 7—8 月,在选取的不同垦殖年限地块,按 S 形方式采集耕层土样 5—7 个(0—30cm),充分混合作为一个混合样,重复 3 次。充分混合的土样四分法留取 1.00 kg 左右,拣去作物残根和石砾等、自然风干,选取部分土壤研磨过 2 mm 和 0.25 mm 筛备用。

1.2 有机碳组分的分离及计算

活性有机碳根据氧化剂 KMnO_4 的浓度的不同(33、167、333 mmol L^{-1})可分为高活性有机碳、中活性有机碳和活性有机碳^[11]。活性有机碳采用 Blair 的方法^[12]测定,并计算出氧化的碳量(氧化过程中 1 mmol L^{-1} KMnO_4 消耗 0.75 mmol L^{-1} 或 9 mg 碳),

土壤轻组有机碳(LFOC)是介于动植物残体与腐殖质类物质之间的一类物质,它可以利用一定密度的重液,通过浮选法进行分离^[13]。称取过 2mm 筛的风干土样 20.0g,放入装有 200ml 密度为 1.8g cm^{-3} 的 NaI 溶液的玻璃离心管中,搅拌震荡数秒后,用 NaI 溶液将附着在管壁和玻璃棒上的颗粒物洗入悬浮液中,静置 30min 后放置离心机中进行 30min 离心($825\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$)。利用玻璃滤纸对悬浮液进行真空过滤,并用去离子水洗去剩余的 NaI 溶液。将浮在滤纸上物质放 65°C 的烘箱中烘干 12h,烘干后称重,采用 EA3000 型元素分析测定。

土壤颗粒有机物的提取通过 Cambardella 和 Elliott^[14]提供的方法,并作一些改进。称取风干土壤样品 20

$g(<2\text{ mm})$,放入 100 mL $(\text{NaPO}_3)_6(5\text{ g L}^{-1})$ 的水溶液中,先手摇 15 min,再用振荡器(90 r min^{-1})振荡 18 h。把土壤悬液过 $53\mu\text{m}$ 筛,反复用蒸馏水冲洗,直到冲洗液澄清,收集所有留在筛子上的物质,在 60°C 下过夜烘干称重,计算其所占土壤的百分含量。

土壤中水稳性团聚体($>250\mu\text{m}$)通过湿筛法进行测定^[15]。称取约 20 g 风干土样(1—10 mm),利用孔径为 $250\mu\text{m}$ 的筛子在圆柱型容器中湿筛 10min。同时,以每秒 30 次的频率进行敲击。湿筛后,将容器用手反复倒置 10 次,称重并计算 $>250\mu\text{m}$ 水稳性团聚体(WSA)的含量。

总有机碳(Total organic carbon TOC)和颗粒物中有机碳采用丘林法测定^[16]。

数据采用 SPSS13.0 统计分析软件进行分析。

2 结果与分析

2.1 对总有机碳的影响

土壤总有机碳含量随垦殖年限的变化情况如图 1 所示。自然土壤开垦后,土壤有机碳含量随垦殖年限的延长显著增加($P<0.05$)。其中,在土壤垦殖初期 0—5a 间,总有机碳含量呈现快速增加趋势($P<0.05$),兰州湾、31 团、普惠农场年均分别增加 $0.55, 1.09, 0.65\text{ g kg}^{-1}$,较自然土壤开垦前分别提高了 76%、286% 和 146%;垦殖 5—20a 间总有机碳呈现缓慢增加趋势,但在垦殖年限内差异不显著,趋于平衡或略有增加。土壤总有机碳含量与垦殖年限之间的相关分析可知,兰州湾和 31 团土壤总有机碳含量与垦殖年限之间达到显著的正线性相关关系($P<0.05$),普惠农场达到了极显著相关关系($P<0.01$)。说明在干旱荒漠区自然土壤开垦后,随着垦殖年限的延长有利于农田土壤总有机碳的积累,但垦殖 5 年后,土壤总有机碳表现出维持平衡或缓慢增加趋势。

2.2 对活性有机碳组分的影响

土壤活性有机碳(LOC)随垦殖的变化如图 2 所示。随着垦殖年限的延长,土壤活性有机碳表现出垦殖 0—5a 间增加,而垦殖 5a 后下降的趋势。在垦殖的 0—5a 间,兰州湾、31 团土壤中 LOC 含量分别较自然土壤显著增加了 $1.45, 0.83\text{ g kg}^{-1}$,年均增加 $0.29, 0.17\text{ g kg}^{-1}$,提高了 90% 和 106% ($P<0.05$)。普惠农场 0—5a 间也表现出增加趋势,但差异不显著($P>0.05$),0—5a 间仅增加了 0.13 g kg^{-1} ,年均增加只有 0.03 g kg^{-1} 。垦殖 5a 后,LOC 呈现出显著下降趋势,且在垦殖 15a 兰州湾和 31 团 LOC 含量开始接近与自然土壤开垦前含量。垦殖 20a,兰州湾、31 团和普惠农场 LOC 含量较自然土壤开垦前显著下降了 $0.59, 0.53, 0.30\text{ g kg}^{-1}$ ($P<0.05$)。

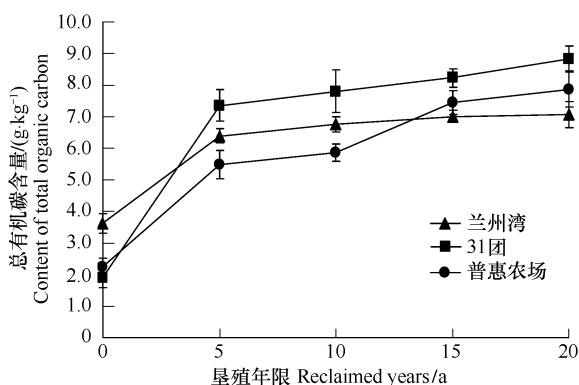


图 1 土壤总有机碳的变化

Fig.1 The change in content of soil TOC

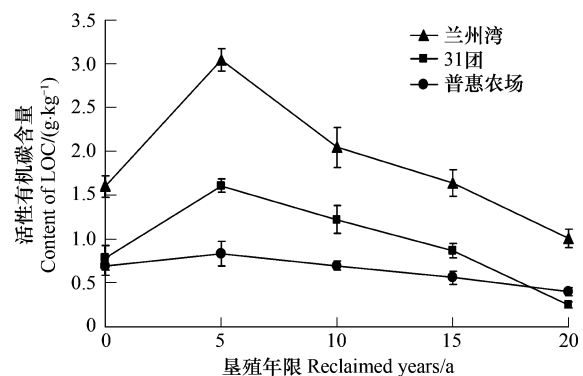


图 2 活性有机碳的变化

Fig.2 The change in content of soil LOC

图 3 显示了土壤轻组有机碳组分随垦殖年限的变化趋势。土壤轻组有机碳表现出垦殖 0—5a 间增加,垦殖 5a 后下降的趋势。在垦殖 0—5a 间,31 团和普惠农场 LFOC 分别较自然土壤显著增加 $0.73, 1.02\text{ g kg}^{-1}$ ($P<0.05$),分别提高了 87%、191%;兰州湾也增加了 0.22 g kg^{-1} ,提高了 17.06%,但差异不显著。垦殖 5a

后,31团和普惠农场 LFOC 含量表现出明显的下降趋势($P < 0.05$),兰州湾也表现出下降的趋势,差异不显著($P > 0.05$)。在垦殖 20a 内,LFOC 含量与自然土壤相比,兰州湾、31团降低了 $0.35, 0.18 \text{ g kg}^{-1}$,普惠农场比自然土壤开垦前高 0.26 g kg^{-1} ,差异不显著($P > 0.05$)。

土壤颗粒有机碳随垦殖年限的变化如图 4 所示。颗粒有机碳(POC)随垦殖年限的延长表现出垦殖 0—10a 增加,10a 后开始下降的趋势。在垦殖初期 0—5a,颗粒有机碳增加显著($P < 0.05$)。相对于自然土壤,兰州湾、31团和普惠农场分别增加 $0.95, 1.16, 1.72 \text{ g kg}^{-1}$,提高了 316%、263%、1228%。垦殖 5—10a 间仍表现出增加趋势,除兰州湾外,差异不显著($P > 0.05$)。垦殖 10a 后,颗粒有机碳开始表现出下降趋势,差异不显著($P > 0.05$),但仍显著高于自然土壤($P < 0.05$),分别为 $0.95, 1.21, 1.59 \text{ g kg}^{-1}$,较自然土壤开垦前提高了 316%、275%、1135%。

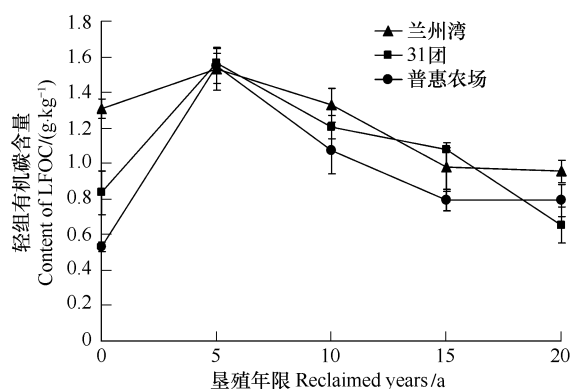


图 3 土壤轻组有机碳的变化图

Fig. 3 The change in content of LFOC

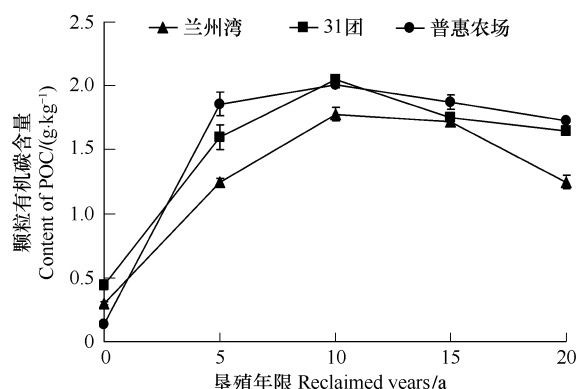


图 4 土壤颗粒有机碳的变化

Fig. 4 The change in content of POC

从以上分析可以看出,干旱荒漠区自然土壤开垦耕作后,土壤中 LOC、LFOC 和 POC 含量表现出先增加后下降的趋势。在垦殖 0—5a 间增加显著($P < 0.05$),说明垦殖初期 0—5a 有利于提高土壤中有机碳活性有机碳组分。垦殖 5a 后,LOC 和 LFOC 有表现出了下降趋势,10a 后,POC 也表现出下降趋势,但差异不显著。

2.3 对团聚体稳定性的影响

不同垦殖年限土壤水稳性团聚体含量的变化如图 5 所示。自然土壤开垦后,土壤 $> 250 \mu\text{m}$ 的水稳性团聚体含量呈现显著增加趋势。自然土壤开垦前,土壤 $> 250 \mu\text{m}$ 的水稳性团聚体含量均较少,兰州湾、31团和

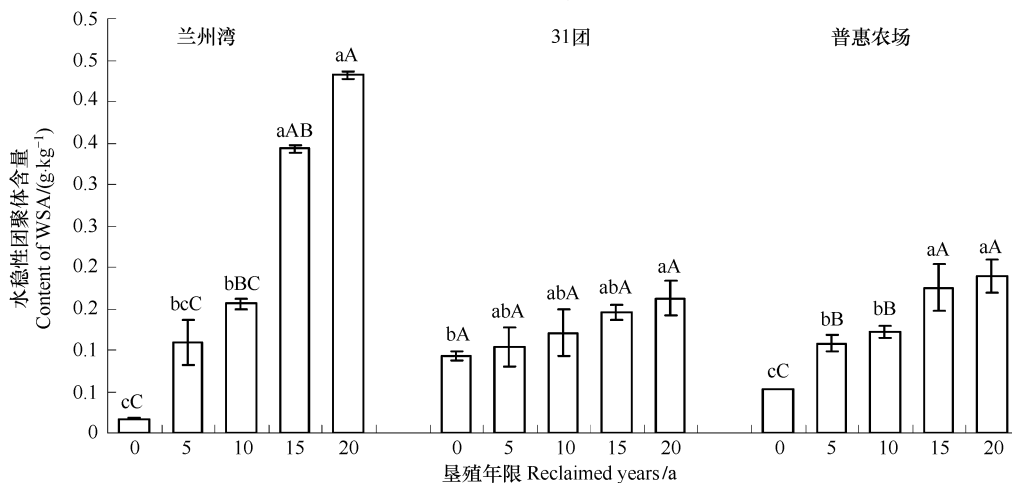


图 5 土壤水稳性团聚体的变化

Fig. 5 The change of water stable aggregate in soil

普惠农场分别为 0.02, 0.09, 0.05 g kg⁻¹。垦殖 20a 后, 土壤水稳性团聚体含量都有了显著增加, 分别增加了 0.42, 0.07, 0.14 g kg⁻¹。与自然土壤开垦前相比, 分别提高了 2472%, 745%, 268%。由兰州湾, 31 团和普惠农场土壤中水稳性团聚体含量与垦殖年限之间的相关分析可知, 土壤水稳性团聚体含量与垦殖年限之间均达到极显著正相关 ($P < 0.01$), 说明, 在新疆干旱荒漠区, 自然土壤开垦为农田后, 随着垦殖年限的延长, 土壤 > 250 μ m 的水稳性团聚体含量呈现显著增加趋势。

土壤水稳性团聚体含量与 TOC、LOC、LFOC 和 POC 之间的相关分析可知, 兰州湾、31 团和普惠农场总有机碳与水稳性团聚体含量之间达到显著或极显著相关, r 值分别为 0.70 ($P < 0.05$)、0.77 ($P < 0.01$) 和 0.98 ($P < 0.01$); 与 31 团和普惠农场的颗粒有机碳之间也达到了显著性水平, r 值为 0.64 ($P < 0.05$) 和 0.73 ($P < 0.05$), 兰州湾 r 值为 0.54, 没有表现出显著相关性, 但其变化趋势相似。土壤水稳性团聚体含量与 LOC 和 LFOC 之间关系不显著 ($P < 0.05$)。由此可见土壤水稳性团聚体含量与土壤总有机碳和颗粒有机碳之间相关性明显。

3 讨论

有机碳作为土壤的一个重要组成部分, 其在维持土壤的物理、化学和生物学特征中起着关键性作用, 被用作土壤质量或健康评价的一个不可或缺的指标。已有的研究表明, 开垦将导致土壤有机碳不同程度的降低。干旱区草地开垦为农田导致土壤有机碳下降 15.7%^[17], 林地开垦为农田使林地有机碳总量减少 25%—40%^[18]。本研究表明, 在土壤有机碳初始值很低的荒漠自然土壤垦殖后, 土壤有机碳呈现增加趋势, 这与干旱区草地开垦、林地开垦为农田有机碳的变化不同^[19], 而与李小刚和李易麟的研究结果类似^[20-21], 这是由于草地和林地其本身有机碳含量较高, 土壤开垦加大了对土壤表层的扰动, 加速了有机质分解, 从而降低了有机碳含量。而绿洲农田处于干旱荒漠区, 受水资源及气候等条件的限制, 生物积累量低, 有机碳初始值低已经很低, 难以在自然条件下提高; 垦殖后, 随着灌溉和施肥等农业措施的实施, 土壤水热环境得到极大的改善, 地上地下生物量快速增多, 加之实行秸秆还田, 年归还土壤的有机物量增加, 从而促进土壤有机碳含量的快速升高。潘根兴的研究表明在西北干旱区, 自然植被下有机碳含量不到 0.6 g kg⁻¹, 开垦半年内会丧失 30% 以上^[22]。为此, 还需进一步开展干旱区自然土壤开垦年际时间内土壤有机碳的变化趋势研究。

土壤活性有机碳是指在土壤中不稳定、易氧化、分解、矿化, 其形态和空间位置对植物和微生物有较高活性的那部分土壤碳素^[12, 17, 23]。虽然活性有机碳在农业土壤中占总有机碳的比例很小, 仅为 1.8%—32%, 但对因农业管理措施等人为活动所引起土壤的微小变化的响应较快^[18, 23-24]。有研究表明耕作行为导致土壤 LOC 和 LFOC 含量不同程度的降低^[12, 25-27], Franzluebbers^[28]发现垦殖使颗粒有机碳加速分解, Chan^[29]也发现草地开垦后颗粒有机碳首先流失。而本研究表明垦殖初期 0—5a 有利于土壤 LOC 和 LFOC 的积累, 垦殖 5a 后则呈现下降趋势, POC 表现为 0—10a 增加, 10a 后降低。可能因为研究区处于干旱荒漠区, 且地表植被稀少, 外源有机物缺乏, 微生物数量有限, 土壤有机物的分解转化效率慢, 活性有机碳含量和活性较低。垦殖后, 灌溉改善了土壤的水热环境, 土壤微生物活性增强, 加速了有机物的分解。同时地上地下生物量增多, 有机肥和化肥的施用以及秸秆还田等措施的施行都提高了土壤 LOC、LFOC 的含量。此外, 垦殖使微生物数量和活性增强, 其代谢和分泌物增多, 也是提高活性有机碳组分含量的一个重要原因。而长期的耕作和机械化操作, 加大了对土壤的扰动, 使得作物残体与土壤充分接触, 加速了作物残体的分解, 也使有机碳向土壤颗粒中转化, 使 LOC 和 LFOC 开始下降。如果对土壤掠夺式的利用, 重用轻养, 也会导致土壤 LOC 和 LFOC 含量降低, 且随着垦殖年限的增长, 减少的趋势更明显, 土壤质量有趋于恶化的风险。由此可见 5—10a 将是比较合适的垦殖年限, 其后需要进行耕作和种植方式的调整 (如轮作、倒茬等) 来缓解土壤质量的恶化, 使土壤质量向良性发展。

土壤团聚体稳定性是土壤物理质量的综合体现^[30], 而土壤水稳性团聚体稳定性是表征土壤物理性状的重要指标^[31]。本研究表明垦殖有利于土壤水稳性团聚体含量的增加, 这是由于自然土壤开垦后, 增加了土壤水分含量, 地上地下的生物量增多, 而新形成的颗粒有机物和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^[32],土壤有机碳含量增加了土壤团聚体形成的胶结剂,从而使 $>250\mu\text{m}$ 水稳性团聚体含量增加。另一方面土壤微生物环境的改善,使得微生物中的放线菌菌丝能将土壤颗粒彼此机械缠绕在一起形成团聚体,而微生物的代谢产物多糖和其它有机物对土壤颗粒的胶结作用也促进稳定性团聚体的形成,从而提高水稳性团聚体含量。植物根系及其分泌物也是土壤颗粒胶结在一起形成水稳性团聚体^[33]。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。

致谢: 土壤有机碳物理分组工作在中国农科院农业资源与规划研究所土壤实验室完成,特此致谢。

References:

- [1] Yang J C, Han X G, Huang J H, Pan Q M. The dynamics of soil organic matter in cropland responding to agricultural practices. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(4): 787-795.
- [2] Zhang G S, Huang G B, Yin Chan. Soil organic carbon sequestration potential in cropland. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(2): 351-357.
- [3] Davidson E A, Ackerman I K. Changes in carbon inventories following cultivation of previously untilled soil. *Biogeochemistry*, 1993, 20: 161-193.
- [4] Aguilar R, Kelly E F, Heil R D. Effects of cultivation on soils in northern Great Plains rangeland. *Soil Science Society of America Journal*, 1988, 52: 1081-1085.
- [5] Xu M G, Yu R, Wang B R. Labile organic matter and carbon management index red soil under long-term fertilization. *Acta Pedologica Sinica*, 2006, 43(5): 273-279.
- [6] Wu T Y, Schoenau J J, Li F M. Effect of tillage and rotation on organic forms of chernozemic soils in Saskachwan. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2003, 166: 328-335.
- [7] Eynard A, Schumacher T E, Lindstrom M J, Malo D D. Effects of agricultural management systems on soil organic carbon in aggregates of Ustolls and Usterts Soil and Tillage Research, 2005, 81: 253-263.
- [8] Tan W F, Zhu Z F, Liu F, Hu R G, Shan S J. Organic Carbon Distribution and Storage of Soil Aggregates under Land Use Change in Jiangnan Plain, Hubei Province. *Journal of Natural Resources*, 2006, 21(6): 973-980.
- [9] Whalen J K, Hu Q C, Liu A G. Compost applications increase water-stable aggregates in conventional and no-tillage systems. *Soil Science Society of America Journal*, 2003, 67(6): 1842-1847.
- [10] The Xinjiang Production and Construction Corps statistics bureau eds. Xinjiang Production and Construction Corps statistical annual(1949-2007). Beijing: China Statistics Press, 2007: 6: 52-108.
- [11] Logninow W, Wisniewski W, Strony W M, Lisle L. Fractionation of organic carbon based on susceptibility to oxidation Polish. *Soil Sci.*, 1987, 20: 47-52.
- [12] Blair G J, Lefroy R D B, Lisle L. Labile soil carbon fractions based on the degree of oxidation and the development of a carbon management index for agricultural systems Aus. *J. Agric. Res. Ecol.*, 1995, 46: 1459-1466.
- [13] Christensen B T. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. *Adv Soil Sci*, 1992, 20: 2-90.
- [14] Cambardella C A, Elliott E T. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. AM. J.*, 1992, 56: 777-783.
- [15] Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. Soil Physical and Chemical Analysis. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1978: 466-536.
- [16] The Chinese Soil Academic society Agrochemistry Specialized Committee eds. Soil agrochemistry routine analysis method. Beijing: Science Press, 1983: 67-109.
- [17] Christensen B T. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. *Euro J Soil Sci*, 2001, 52: 345-353.
- [18] Franzluebbers A J, Arshad M A. Particulate organic carbon content and potential mineralization as affected by tillage and texture. *Soil Science Society of American Journal*, 1997, 61: 1382-1386.
- [19] Li X G, Zhe F W, Ma Q F, Li F M. Crop cultivation and intensive grazing affect organic C pools and aggregate stability in arid grassland soil. *Soil & Tillage Research*, 2007, 95(2): 172-181.
- [20] Li X G, Feng M L, Zed Rengel, Bhupinderpal-Singh, Zhe-Feng Wang. Cultivation effects on temporal changes of organic carbon and aggregate stability in desert soils of Hexi Corridor region in China *Soil & Tillage Research*, 2006, 91(1/2): 22-29.
- [21] Li Y L, Nan Z R. Effects of cultivation on nutrient contents and main properties in desert soil of Northwest Arid Region — A case study in Linze

- county of Gansu Province. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2008, 22(10):147-151.
- [22] Pan G X, Li L Q, Zhang X H, Dai J Y, Zhou Y C, Zhang P J. Soil organic carbon storage of China and the sequestration dynamics in agricultural lands. *Advance in Earth Sciences*, 2003, 18(4):609-618.
- [23] Besnard E, Chenu C, Balesdent J, Puget P D. Fate of particulate organic matter in soil aggregates during cultivation. *European Journal of Soil Science*, 1996, 47: 495-503.
- [24] Wander M M, Bidart M G. Tillage practice influences on the physical protection, bioavailability and composition of particulate organic matter. *Biology and Fertility of Soils*, 2000, 32:360-367.
- [25] Zhang J B, Song Z C, Yang W Y. Influence of land-use type on soil dissolved organic carbon in the Sanjiang Plain. *China Environmental Science*, 2005, 25(3):343-347.
- [26] Li Y M, Wang Y S, Cao G M, Du Y G. Preliminary Research of Effect of Cultivation on Soil Organic Carbon in Alpine Meadow. *Progress in Geography*, 2005, 24(6):59-65.
- [27] Malhi S S, Brandt S, Gill K S. Cultivation and grassland type effects on light fraction and total organic C and N in a Dark Brown Chernozemic soil. *Canadian Journal of Soil Science*, 2003, 83(2):145-153.
- [28] Franzluebbers A J, Arshad M A. Particulate organic carbon content and potential mineralization as affected by tillage and texture. *Soil Science Society of America Journal*, 1997, 61:1382-1386.
- [29] Chan K Y. Consequences of changes in particulate organic carbon in vertisols under pasture and cropping. *Soil Science Society of America Journal*, 1997, 61: 1376-1382.
- [30] Bronick C J, Lal R. Soil structure and management: a review. *Geoderma*, 2005, 124: 3-22.
- [31] Yang C M, Ou Y Z, Dong Y H. Organic carbon fractions and aggregate stability in aquatic soil under different fertilization. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(8):887-892.
- [32] Kay B D. Soil structure and organic carbon: a review // Lal R., Kimble J. M., Follett, R. F., Stewart, B. A. eds. *Soil Processes and the Carbon Cycle*. CRC Press, Boca Raton, FL, 1998: 27-98.
- [33] Li Z P, Jiao K, Lin X X, Cheng L L. Effect of fertilizer application on biochemical properties of infertile red soils. *Soils*, 2003, 35(4):304-310.

参考文献:

- [1] 杨景成, 韩兴国, 黄建辉, 潘庆民. 土壤有机质对农田管理措施动态响应的生态学报, 2003, 23(4):787-795.
- [2] 张国盛, 黄高宝, YIN Chan. 农田土壤有机碳固定潜力研究进展. 生态学报, 2005, 25(2):351-357.
- [5] 徐明岗, 于荣, 王伯仁. 长期不同施肥下红壤活性有机质与碳库管理指数变化. 土壤学报, 2006, 43(5):273-279.
- [8] 谭文峰, 朱志峰, 刘凡, 胡荣桂, 单世杰. 江汉平原不同土地利用方式下土壤团聚体中有机碳的分布与积累特点. 自然资源学报, 2006, 21(6):973-980.
- [10] 新疆生产建设兵团统计局编. 新疆生产建设兵团统计年鉴(1949-2007). 北京: 中国统计出版社, 2007: 6: 52-108.
- [15] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海: 上海科学技术出版社, 1978: 466-536.
- [16] 中国土壤学会农业化学专业委员会编. 土壤农业化学常规分析方法. 北京: 科学出版社, 1983: 67-109.
- [22] 潘根兴, 李恋卿, 张旭辉, 代静玉, 周运超, 张平究. 中国土壤有机碳量与农业土壤碳固定动态的若干问题. 地球科学进展, 2003, 18(4): 609-618.
- [25] 张金波, 宋长春, 杨文燕. 土地利用方式对土壤水溶性有机碳的影响. 中国环境科学, 2005, 25(3):343-347.
- [26] 李月梅, 王跃思, 曹广民, 杜岩功. 开垦对高寒草甸土壤有机碳影响的初步研究. 地理科学进展, 2005, 24(6):59-65.
- [31] 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.
- [33] 李忠佩, 焦坤, 林心雄, 程励励. 施肥条件下瘠薄红壤的生物化学性状变化. 土壤, 2003, 35(4):304-310.