

新疆艾比湖地区不同土地利用类型土壤养分及活性有机碳组分研究

张晓东¹, 李忠¹, 张峰²

(1. 巴音郭楞职业技术学院, 新疆 库尔勒 841000; 2. 新疆库尔勒市香梨研究中心, 新疆 库尔勒 841000)

摘要:土壤有机碳及其组分是土壤质量的重要指标,在土壤许多物理、化学和生物特性中发挥着重要作用。通过对我国内陆荒漠自然生态系统中新疆艾比湖地区不同土地利用类型土壤进行采样和分析,系统地研究和比较了不同土地利用类型土壤养分及有机碳组分。结果表明:新疆艾比湖不同土地利用类型土壤总孔隙度与土壤容重变化趋势相反。不同土地利用类型对土壤养分具有较大影响,土壤有机碳、全氮、全磷和全钾均呈现出一致性规律,大致表现为林地>草地>耕地>未利用地,而不同土地利用类型土壤全磷差异并不显著($p>0.05$)。不同土地利用类型土壤易氧化有机碳(EOC)、颗粒有机碳(POC)、轻组有机碳(LFOC)、水溶性有机碳(WSOC)、土壤微生物量碳(MBC)和微生物量氮(MBN)均呈现出一致性规律,大致表现为林地>耕地>草地>未利用地。林地和草地 EOC/SOC 比例显著低于耕地和未利用地,说明林地和草地转变成耕地降低了土壤有机碳的稳定性;微生物商(MBC/SOC)基本表现为耕地>林地>草地>未利用地,其中耕地和林地土壤 MBC/SOC 比例差异不显著($p>0.05$)。相关性分析表明,土壤活性有机碳各组分与 SOC, TN, TK 均具有极显著相关性关系,并且不同土地利用类型土壤 EOC, POC, LFOC, WSOC 和 MBC 含量之间均具有极显著相关性($p<0.05$),说明土壤活性有机碳很大程度上依赖于有机碳含量,活性有机碳各组分之间相互影响和密切联系,其中 SOC, TN 和 TK 是不同土地利用类型土壤活性有机碳变化的重要影响因子。

关键词:艾比湖;土地利用类型;土壤养分;有机碳组分

中图分类号:S153

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2017)05-0055-08

Variation of Soil Nutrients and Soil Active Organic Carbon Under Different Land Use Patterns in Aibinur Lake Region of Xinjiang

ZHANG Xiaodong¹, LI Zhong¹, ZHANG Feng²

(1. Bayingol Vocational and Technology College, Korla, Xinjiang 841000, China;

2. Korla Research Center of Fragrant Pear, Korla, Xinjiang 841000, China)

Abstract: The Aibinur Lake region has great position for its ecology and geography. As an essential indicator of soil quality, soil organic carbon (SOC) and its fractions play an important role in many soil chemical, physical and biological properties. A field experiment was conducted to determine the variation of soil nutrients and soil active organic carbon under different land use patterns in Aibinur Lake region of Xinjiang. The results are as follows. The soil mechanical composition under different land use patterns was different, and the change trend of soil total porosity was contrary with the soil bulk density. The soil organic carbon, total nitrogen, total phosphorus and total potassium had the same change trends, which showed the order: forest land>grassland>cultivated land>unused land, while the soil total phosphorus had no significant difference under different land use patterns ($p>0.05$). The easy oxidation of soil organic carbon (EOC), particulate organic carbon (POC), light fraction of organic carbon (LFOC), water soluble organic carbon (WSOC), soil microbial biomass carbon (MBC) and microbial biomass nitrogen (MBN) had the same change trends, which showed the sequence: forest land>grassland>cultivated land>unused land. The ratios of EOC to SOC of forestland and grassland were higher than those in cultivated land and unused land which showed that the sta-

bility of soil organic carbon decreased in the progress of conversion of forestland and grassland to cultivated land. The ratios of MBC to SOC showed the sequence: forest land > grassland > cultivated land > unused land, while the ratios in forestland and cultivated land had no significant difference ($p > 0.05$). Correlation analysis showed that soil active organic carbon components had a significant correlation with SOC, TN, TK, and EOC, POC, LFOC, WSOC and MBC had the extremely significant correlation each other ($p < 0.05$), which indicated that soil active organic carbon mainly depended on the organic carbon content to a large extent and active organic carbon influenced each other. In addition, the contents of SOC, TN, and TK were the important influencing factors on change in active organic carbon under different land use patterns in Aibinur Lake region of Xinjiang.

Keywords: Aibinur Lake; land use patterns; soil nutrients; soil active organic carbon

土壤是复杂的自然综合体,具有较大的时空尺度变化,由于气候、成土条件、成土母质、开垦和耕作方式等导致土壤肥力差异性较大,进而影响土壤养分形态组分和变迁^[1-2]。土地利用是人类干预土壤肥力最重要、最直接的活动,通过改变土壤营养循环强度、总量及路径,通过改变土壤的水热条件等从而影响土壤养分的流动与转化,进而导致土壤肥力变化^[3]。合理的土地利用方式可以改善土壤结构,增强土壤对外界环境变化的抵抗力,而不合理的土地利用方式则会导致土壤质量下降,加速侵蚀和导致土壤退化^[3-5]。由于土壤有机质(SOM)或有机碳(SOC)在土壤物理、化学和生物学特性中发挥着极其重要的作用,故不但被认为是土壤质量或土壤健康的一个重要指标,也是表征环境质量的关键性指标。但是,土壤总有机碳(TOC)可能在较短时间内对因农业管理措施导致的土壤质量的变化反映不甚敏感。土壤有机碳是一种有机物质的异质混合物,其不同的形态或组分可能对土壤肥力或质量产生不同的影响。过去一些研究结果表明,土壤有机碳中某些组分在维持土壤质量或健康中发挥着更大的作用^[3-5]。一些研究发现^[4],土壤活性有机碳(LOC)和轻组有机碳对不同耕作方式和秸秆还田处理的反应更为迅速。因此,与土壤总有机碳相比,这些组分有机碳更可能作为反映因农业管理措施的改变而导致的土壤质量变化的敏感性指标,土壤微生物生物量碳虽然只占土壤总有机碳的极少的一部分(一般约为5%~8%),但是由于其具有较高的活性和动态性,在养分循环和维持生态系统功能中发挥重要的作用。参与土壤中有有机质分解、腐殖质的形成、土壤养分的转化循环等各个生化过程,是土壤中最活跃的因子^[6]。基于土壤有机碳组分在本质特性上的差异,测定某些更小或更为活泼的土壤有机碳组分指标,对于表征因土壤管理措施引起的土壤有机碳质量的改变具有重要的意义^[7-8]。土壤活性有机碳则是土壤中有效性较高、易被土壤微生物分解利用、

对植物养分供应有最直接作用的那部分有机碳,其中土壤可溶性有机碳(DOC)、微生物量碳(MBC)和易氧化有机碳(EOC)是其重要的表征指标^[7-8]。因此,探讨对土地利用方式变化响应敏感的土壤指示因子十分有必要。

近年来随着精细农业的兴起和发展,我国可利用土地面积较少,亟需了解不同土地利用类型土壤养分及碳组分形态的组分及变迁,以便于优化土地可持续利用^[9-11]。新疆是中国干旱区最主要的集中区,占国土总面积4%的绿洲却承载了新疆95%以上的人口,其中不同土地利用方式下土壤质量至关重要,是新疆经济、资源、人口综合作用的载体,也是我国重要的耕地资源后备基地^[12-13]。由于区域内光热水土的特殊组合,新疆形成独具特色的农业,具备了建立优质、高产、高效农业的优越条件,但独特的气候资源条件也造就了新疆为土壤盐渍化大区,并且随着不合理的土地利用带来的土壤质量变化问题日益受到重视^[14]。因此,研究新疆不同土地利用类型土壤养分和碳组分可为新疆土壤质量的维护和利用提供数据支撑。本研究以新疆艾比湖为例,研究不同土地利用类型土壤有机碳及其组分的比较,旨在揭示不同土地利用方式对土壤质量的影响机制,对新疆土壤退化的恢复也有一定的指导意义,同时也为新疆土地资源质量的调控和可持续利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

艾比湖流域位于中国新疆与哈萨克斯坦共和国交界的阿拉山口,新疆维吾尔自治区的西北部,准噶尔盆地西南方向(43°38'—45°52'N,79°53'—85°02'E),地跨新疆维吾尔自治区博尔塔拉蒙古自治州、奎屯市和克拉玛依市的独山子区。艾比湖湿地保护区三面环山,湖滨地带由山前洪积—冲积—湖积平原组成,石漠、砾漠、沙漠、土漠、盐漠、沼泽、滩涂广泛分布。以艾比

湖体(蝶状)为核心,包括湖滨地带范围约 2 960 km²,海拔 189 m,具典型干旱区湖泊形态特征,是一个封闭性流域,地表、地下水资源的提供与补给主要来源于山区,流域内有 7 条主要河流和 33 条沟系,水资源量为 37.8 亿 m³,土地次生盐碱化明显,土地退化,生态环境问题突出,生态区位与地理位置极为重要。本研究选取位于艾比湖流域生态系统中的博乐和精河作为研究对象,地处艾比湖中部偏西,位于 44°22′—45°07′N,82°07′—83°55′E。受西风环流以及蒙古高压和西伯利亚冷空气的影响,该区属温带干旱性气候,光照充足,干燥少雨,夏季降水稀少,冬季异常干燥寒冷,年平均气温 6.6~7.8℃,多年平均降水量 116.0~169.2 mm,年蒸发量为 1 626 mm 左右(近 10 a 数据),年平均≥8 级以上大风 165 d,极大风速达 55 m/s。研究区南部和西部分布洪积扇和固定沙丘,中部和东部为湖区和湖滨平原,地势西南高,东北低,土壤多为戈壁及亚沙土,地表植被多稀疏且分布不均,同时由于春夏降雨及雪山融水原因,地表侵蚀现象严重^[15]。

1.2 土壤样品采集

在艾比湖流域选取林地、草地、耕地和未利用地 4 种土地利用类型,每种土地利用类型设置 3 个重复样地(样地面积为 100 m×100 m 左右),每个样地随机设置 8 个采样点,每个采样点间距在 10 m 以上。土壤样品的采集:用土钻取 0—20 cm 土层样品,每个采样点按“S”型取 5 个样品混合后四分法取样品。新鲜土样通过 2 mm 筛后,一部分自然风干,用于土壤养分和粒径组成的测定,另一部分于冰箱内冷藏(4℃,<72 h),待分析微生物生物量碳和氮。

1.3 土壤样品测定

土壤有机碳(SOC)采用重铬酸钾氧化外加热法进

行测定;土壤易氧化有机碳(EOC)采用 K₂MnO₄ 氧化法—比色法测定;土壤轻组分有机碳(LFOC)和颗粒有机碳组分(POC)(53~2 000 μm)根据 Cambardell 等的方法;水溶性有机碳(WSOC)过滤离心提取的方法,然后用重铬酸钾氧化外加热法进行测定;土壤可矿化碳(MNC)通过室内培养法进行估算;土壤微生物量碳(MBC)和氮(MBN)采用熏蒸提取法^[16]。

1.4 统计分析

利用 Excel 2003 和 SPSS 18.00 软件对数据进行分析,单因素方差进行分析(One-way ANOVA),采用邓肯新复检验法对不同土地利用类型差异进行统计。所有数据测定结果以平均值±标准误的形式表达,通过相关分析系数描述土壤养分与土壤有机碳组分的相关程度。

2 结果与分析

2.1 不同土地利用类型土壤粒径组成

不同土地利用类型土壤机械组成如表 1 所示,由表 1 看出,1~0.05 mm 土壤所占比例范围为 11.21%~23.36%,基本表现为:耕地>未利用地>草地>林地,0.05~0.002 mm 土壤所占比例范围为 54.27%~66.35%,基本表现为:草地>林地>耕地>未利用地,<0.002 mm 土壤所占比例范围为 18.37%~24.17%,基本表现为:未利用地>林地>草地>耕地;土壤容重变化范围为 0.85~1.13 g/cm³,基本表现为:未利用地>草地>林地>耕地,未利用地与草地差异不显著($p>0.05$),林地与草地差异不显著($p>0.05$),耕地显著低于其他土地利用类型($p<0.05$);土壤总孔隙度与土壤容重变化趋势相反,基本表现为:未利用地<草地<林地<耕地,不同土地利用类型差异均显著($p<0.05$)。

表 1 不同土地利用类型土壤粒径组成

项目	机械组成/%			容重/ (g·cm ⁻³)	总孔隙度/%
	1~0.05 mm	0.05~0.002 mm	<0.002 mm		
耕地	23.36±3.21a	58.27±5.23b	18.37±3.02b	0.85±0.09c	46.32±1.56a
林地	11.21±1.56c	65.34±4.16a	23.45±1.58a	0.91±0.13b	42.14±1.02b
草地	14.49±1.03b	66.35±6.21a	19.16±2.14b	1.02±0.16ab	38.19±1.24c
未利用地	21.56±2.47a	54.27±5.47c	24.17±1.25a	1.13±0.08a	31.25±1.37d
均值	17.66±1.48	61.06±5.68	21.29±1.98	0.98±0.11	39.48±1.28
<i>p</i>	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
<i>F</i>	78.92	53.14	68.97	83.69	91.03

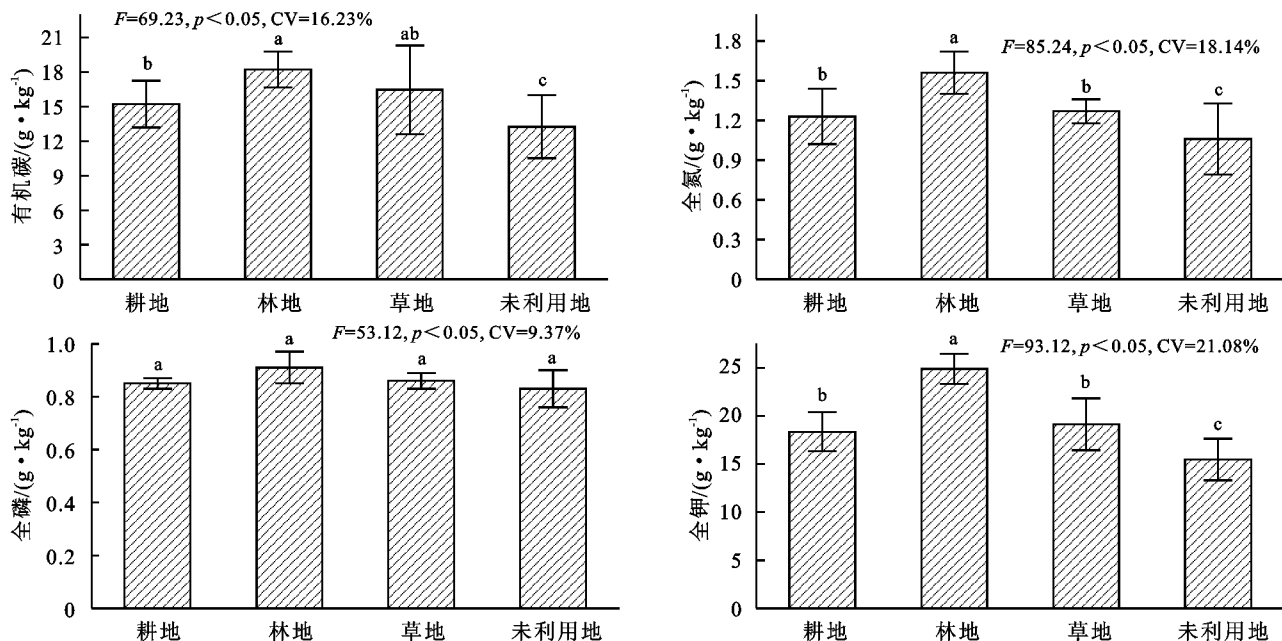
2.2 不同土地利用类型土壤养分含量特征

由图 1 可知,在耕地、林地、草地和未利用地 4 种不同土地利用类型下,土壤有机碳、全氮、全磷和全钾均呈现出一致性规律,大致表现为林地>草地>耕地>未利用地;其中林地和草地土壤有机碳差异不显著

($p>0.05$),草地和耕地土壤有机碳差异不显著($p>0.05$),未利用地土壤有机碳最低($p<0.05$);林地土壤全氮显著高于其他土地利用类型($p<0.05$),耕地和草地土壤全氮差异不显著($p>0.05$),未利用地土壤全氮最低($p<0.05$);4 种不同土地利用类型土壤

全磷差异均不显著($p>0.05$);林地土壤全钾显著高于其他土地利用类型($p<0.05$),耕地和草地土壤全钾差异不显著($p>0.05$),未利用地土壤全钾最低($p<0.05$)。不同土地利用类型土壤有机碳变化范围为13.25~18.23 g/kg,变异系数为16.23%,全氮变化范围为1.06~1.56 g/kg,变异系数为18.14%,全磷变化范围为0.83~0.91 g/kg,变异系数为9.37%,全

钾变化范围为15.47~24.98 g/kg,变异系数为21.08%;相对于未利用地,耕地、林地和草地土壤有机碳分别高出14.94%,37.58%和24.30%,耕地、林地和草地土壤全氮分别高出16.04%,47.17%和19.81%,耕地、林地和草地土壤全磷分别高出2.41%,9.64%和3.61%,耕地、林地和草地土壤全磷分别高出18.62%,60.89%和23.66%。



注:相同小写字母表示在0.05水平上差异不显著,下同。

图1 不同土地利用类型土壤养分含量

2.3 不同土地利用类型土壤活性、轻组 and 颗粒有机碳含量

不同土地利用类型土壤不同活性组分有机碳含量见图2,由图可知,土壤易氧化有机碳(EOC)、颗粒有机碳(POC)、轻组有机碳(LFOC)和水溶性有机碳(WSOC)明显受土壤养分管理模式的影响。土壤易氧化有机碳(EOC)、颗粒有机碳(POC)、轻组有机碳(LFOC)和水溶性有机碳(WSOC)均呈现出一致性规律,大致表现为林地>耕地>草地>未利用地;其中林地和耕地土壤EOC差异不显著($p>0.05$),林地和草地土壤EOC差异不显著($p>0.05$),未利用地土壤EOC最低($p<0.05$);林地土壤POC显著高于其他土地利用类型($p<0.05$),耕地和草地土壤POC差异不显著($p>0.05$),未利用地土壤POC最低($p<0.05$);林地和耕地土壤LFOC差异不显著($p>0.05$),耕地和草地土壤LFOC差异不显著($p>0.05$),未利用地土壤LFOC最低($p<0.05$);草地和林地土壤WSOC差异不显著($p>0.05$),显著高于林地和未利用地($p<0.05$),未利用地土壤WSOC最低($p<0.05$)。不同土地利用类型土壤EOC变化范围为1.21~1.58 mg/kg,变异系数为15.17%,POC变化范围为0.86~1.62 mg/kg,变异系数

为9.22%,LFOC变化范围为0.92~2.21 mg/kg,变异系数为19.13%,WSOC变化范围为6.58~13.58 mg/kg,变异系数为24.3%;相对于未利用地,耕地、林地和草地土壤EOC分别高出30.58%,25.62%和11.57%,耕地、林地和草地土壤POC分别高出76.74%,88.37%和59.30%,耕地、林地和草地土壤LFOC分别高出131.52%,140.22%和47.83%,耕地、林地和草地土壤WSOC分别高出106.38%,40.58%和72.80%。

2.4 不同土地利用类型土壤微生物碳和氮

由图3可知,土壤微生物量碳(MBC)和微生物量氮(MBN)均呈现出一致性规律,大致表现为林地>耕地>草地>未利用地;其中不同土地利用类型土壤MBC差异均显著($p<0.05$);林地和耕地土壤MBN差异不显著($p>0.05$),二者显著高于草地和未利用地($p<0.05$)。不同土地利用类型土壤MBC变化范围为216.98~425.36 mg/kg,变异系数为18.36%;MBC变化范围为23.58~56.23 mg/kg,变异系数为13.58%;相对于未利用地,耕地、林地和草地土壤MBC分别高出69.26%,96.04%和44.06%,耕地、林地和草地土壤MBN分别高出121.84%,138.46%和81.04%。

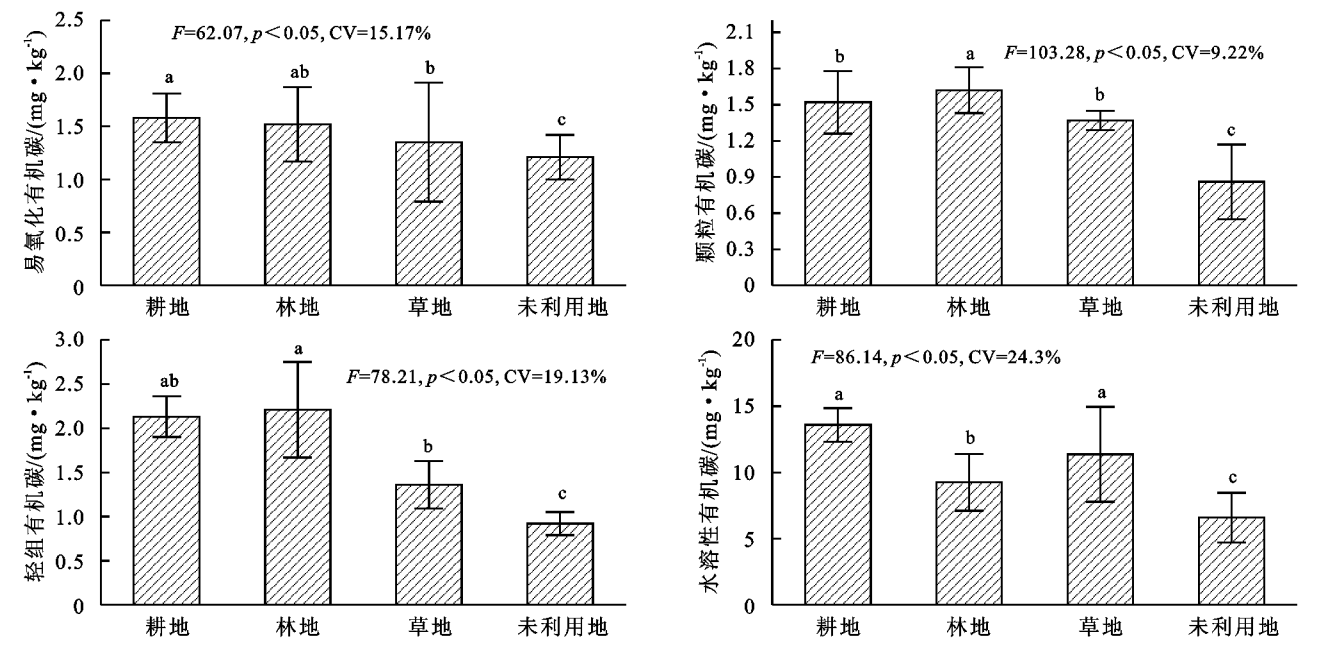


图 2 不同土地利用类型土壤活性、颗粒和轻组有机碳

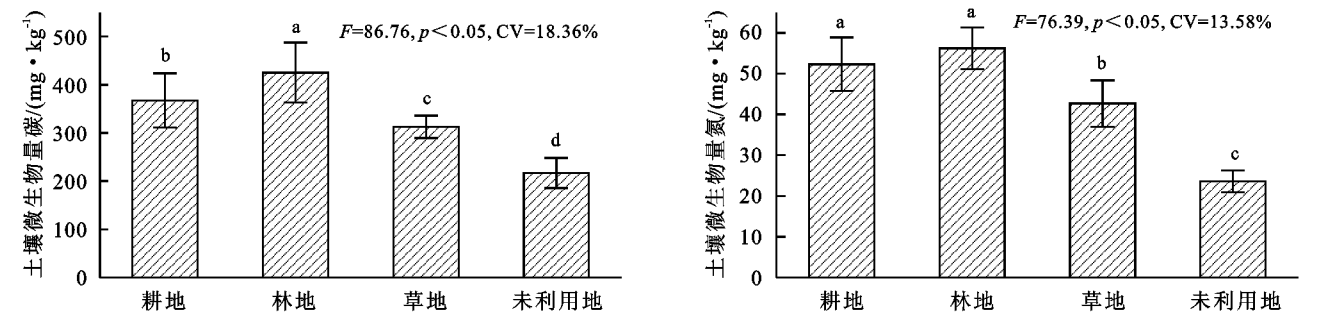


图 3 不同土地利用类型土壤微生物生物量碳和氮

2.5 不同土地利用类型土壤可矿化碳累积量

不同养分模式下的土壤可矿化碳累积量(MNC)变化见图4。由图4可知,在整个培养时间内,以林地土壤可矿化碳累积量增加最为明显,其次是耕地,草地次之,未利用地土壤可矿化碳累积量增加最小,在培养大概10 d以后,不同土地利用类型可矿化碳累积量急剧增加,之后有所平缓。在培养30 d时,与未利用地相比,耕地、林地和草地土壤MNC分别高出71.21%,103.79%和34.07%。

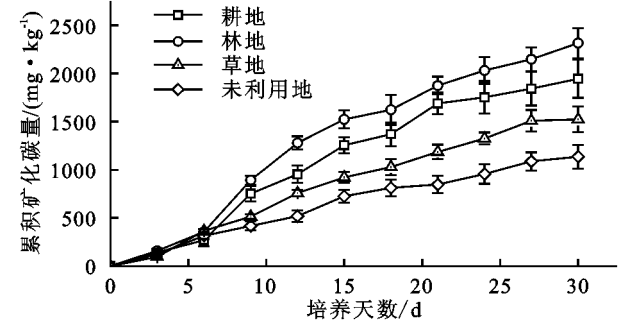


图 4 不同土地利用类型土壤可矿化碳累积量

2.6 不同土地利用类型土壤活性碳与总有机碳的比例关系

由表2可知,不同土地利用类型EOC/SOC比例为

8.20%~10.37%,变异系数范围12.36%~16.98%,基本表现为耕地>未利用地>林地>草地,其中林地和草地EOC/SOC比例差异不显著($p>0.05$),说明土地利用变化对土壤EOC/SOC有显著影响,而林地和草地土壤有机碳比较稳定。土壤微生物量碳占有有机碳的百分比称为微生物商。微生物商的变化反映了土壤中输入的有机质向微生物量碳的转化效率、土壤中碳损失和土壤矿物对有机质的固定。不同土地利用类型土壤MBC/SOC比例为0.18%~0.34%,基本表现为耕地>林地>草地>未利用地,其中耕地和林地土壤MBC/SOC比例差异不显著($p>0.05$)。

表 2 不同土地利用类型土壤 EOC/SOC 和 MBC/SOC 比例

项目	EOC/SOC			MBC/SOC		
	均值	标准差	CV/%	均值	标准差	CV/%
耕地	10.37 a	1.23	12.36	0.34 a	0.08	9.25
林地	8.34 c	1.65	16.98	0.31 a	0.06	12.25
草地	8.20 c	1.14	13.15	0.26 b	0.09	10.14
未利用地	9.13 b	0.98	15.27	0.18 c	0.04	8.32

2.7 不同土地利用类型土壤活性有机碳与土壤养分的相关关系

不同土地利用类型土壤活性有机碳组分与土壤养

分间存在不同的相关关系,表 3 的结果表明:在不同土地利用类型中,土壤 EOC,POC,LFOC,WSOC 和 MBC 与 SOC,TN 和 TK 均呈显著或极显著相关性($p<0.05$),与 TP 相关性不显著,与土壤 BD 均呈负相关;不同土地利用类型 WSOC 和 MBC 与 TPO 呈显著的相关性($p<0.05$);综合来看,不同土地利用类型 POC 和 LFOC 与 1~0.05 mm 粒径呈显著相关性($p<0.05$),

WSOC 和 MBC 与 0.05~0.002 mm 粒径呈显著相关性($p<0.05$),LFOC 和 WSOC 与<0.002 mm 粒径呈显著相关性($p<0.05$)。并且不同土地利用类型土壤 EOC,POC,LFOC,WSOC 和 MBC 含量两两之间具有极显著相关性($p<0.05$),表明活性有机碳各组分之间相互影响和密切联系,其中 SOC,TN 和 TK 是不同土地利用类型土壤活性有机碳变化的重要影响因素。

表 3 不同土地利用类型土壤活性有机碳与土壤养分的相关分析

土地利用 类型	项目	机械组成/%			BD	TPO	SOC	TN	TP	TK
		1~0.05 mm	0.05~0.002 mm	<0.002 mm						
耕地	EOC	0.321	0.326	0.512*	-0.236	0.369	0.869**	0.869**	0.369	0.813**
	POC	0.569*	0.046	0.236	-0.315	0.527*	0.912**	0.923**	0.123	0.703**
	LFOC	0.069	0.234	0.639*	-0.102	0.214	0.953**	0.814**	0.039	0.658*
	WSOC	0.123	0.536*	0.140	-0.569*	0.635*	0.879**	0.674*	0.256	0.614*
	MBC	0.257	0.612*	0.258	-0.305	0.304	0.902**	0.856**	0.498*	0.823**
林地	EOC	0.423	0.512*	0.310	-0.131	0.325	0.723**	0.769**	0.396	0.769**
	POC	0.639*	0.147	0.314	-0.412	0.204	0.963**	0.826**	0.258	0.635*
	LFOC	0.523*	0.236	0.756**	-0.320	0.359	0.869**	0.723**	0.389	0.699*
	WSOC	0.234	0.516*	0.523*	-0.523*	0.563*	0.685*	0.658*	0.569*	0.723**
	MBC	0.512*	0.648*	0.325	-0.205	0.499*	0.636*	0.698*	0.147	0.847**
草地	EOC	0.403	0.256	0.129	-0.426	0.236	0.788**	0.756**	0.206	0.918**
	POC	0.623*	0.314	0.203	-0.369	0.103	0.869**	0.852**	0.125	0.823**
	LFOC	0.231	0.247	0.581*	-0.123	0.247	0.903**	0.912**	0.497*	0.726**
	WSOC	0.058	0.578*	0.369	-0.589*	0.356	0.914**	0.866**	0.523*	0.658*
	MBC	0.147	0.612*	0.258	-0.513*	0.493*	0.907**	0.741**	0.368	0.823**
未利用地	EOC	0.206	0.215	0.140	-0.356	0.236	0.886**	0.563*	0.512*	0.856**
	POC	0.641*	0.169	0.417	-0.487	0.102	0.823**	0.853**	0.415	0.814**
	LFOC	0.147	0.558*	0.632*	-0.123	0.357	0.635*	0.874**	0.358	0.658*
	WSOC	0.265	0.417	0.203	-0.578*	0.541*	0.917**	0.726**	0.566*	0.623*
	MBC	0.341	0.632*	0.532*	-0.453	0.378	0.905**	0.638*	0.237	0.756**

注:*,**分别表示在 0.05,0.01 水平上差异显著,n=24。

3 讨论

新疆作为我国重要的耕地资源后备基地,随着节水滴灌措施的大面积推广和水资源合理开发利用,大量自然土壤被开垦是必然的发展趋势^[12,17]。本研究结果显示新疆艾比湖不同土地利用类型土壤机械组成不尽一致,土壤总孔隙度与土壤容重变化趋势相反,不同土地利用类型对土壤养分及理化性质具有较大影响,土壤有机碳、全氮、全磷和全钾均呈现出一致性规律,大致表现为林地>草地>耕地>未利用地。新疆区域已有研究表明,不同土地利用方式会导致土壤养分的不同,而不同土地利用类型土壤全磷差异并不显著,主要是由于磷素作为一种沉积性元素,其分解作用缓慢,因此其变化范围和空间变异性较低^[18-19]。新疆艾比湖处于干旱荒漠区,生物积累少,有机碳初始值低,不同土地利用方式改变了土壤的理化性质及有机碳组分和性质,特别是水分条件的改

善,林地和草地基本没有开垦,地上和地下生物量以及输入土壤的有机物数量较多,表现出土壤养分含量高于耕地和未利用地,再加上归还土壤的动植物残体和腐殖化物质增加,不同组分有机碳增加迅速,进而改变了土壤理化性状和有机碳组分^[20]。因此,要提高艾比湖地区土壤肥力,则应该从提高土壤有机质含量、合理控制土地利用类型开始。此外,针对不同土地利用类型土壤养分表现的规律和特征,我们可以从中借鉴经验促进土地资源的管理及合理有效利用,在今后的土地利用方式中,促进土壤养分的恢复和利用。通过变异系数可知,不同土地利用类型土壤养分具有高度的空间变异性,即在相同的区域不同类型其含量存在明显的差异,充分了解不同土地利用类型土壤养分分布特征及其变异规律,有针对性地对不同耕地采取施肥技术,不但可以有效提高肥料养分资源利用率和作物产量,对于保持和提高耕地土壤肥力,促进可持续发展具有重要实践意义。

土壤活性有机碳是土壤微生物生长的速效基质,其含量高低直接影响土壤微生物的活性和土壤养分的调节。土地利用类型一方面会导致进入土壤中植物残体的数量和性质发生改变,另一方面会引起土壤水分管理、耕作方式等管理措施的差异,由此影响和改变土壤活性有机碳的含量不同^[21-22]。本研究中,不同土地利用类型对土壤活性有机碳有明显的影响,主要与植物根系分布、产生凋落物数量和质量及其与土壤活性有机碳的相关程度有关。林地和草地根系分布比未利用地和耕地深,土壤表层形成的残体或分泌物多,土壤活性有机碳形成量比未利用地和耕地多,当林地变成耕地后,以前土地利用方式下土壤中的活性有机碳很快被分解完,而在耕地中只是在土壤表层补充了部分的土壤活性有机碳,因此不同土地利用类型土壤活性有机碳均显著高于未利用地($p < 0.05$)。不同土地利用类型土壤易氧化有机碳(EOC)、颗粒有机碳(POC)、轻组有机碳(LFOC)、水溶性有机碳(WSOC)、土壤微生物量碳(MBC)和微生物量氮(MBN)均呈现出一致性规律,大致表现为林地>耕地>草地>未利用地;林地和耕地土壤易氧化性碳含量和微生物碳含量高于草地和未利用地,这与许多研究结果相同^[21-22]。主要是因为林地和草地土壤根系发达、密集,根系分泌物和衰亡的根是微生物丰富的能源物质,有利于微生物的生长,从而造成土壤易氧化态碳含量相对较高。

土地利用变化改变了易氧化有机碳和微生物量碳占总有机碳的比例(表2),土壤易氧化有机碳含量占土壤有机碳的比例可用于表征土壤有机碳的稳定性,比例越高,说明土壤碳的活性越大,稳定性越差^[23-24]。本研究林地和草地 EOC/SOC 比例显著低于耕地和未利用地,说明林地和草地转变成耕地降低了土壤有机碳的稳定性,而耕地和未利用地 EOC/SOC 比例差异不大,这说明土地利用变化对耕地土壤有机碳的稳定性影响不明显,这与许多研究结果相同^[21-22],可能是因为耕地受人为的影响,表层土壤中易氧化的活性碳组分暴露,降低了土壤易氧化碳的稳定性,加速了其被氧化的进程,而深层土壤有机碳平均驻留时间长,矿化速率低和高稳定性,所以对土地利用变化的响应迟缓^[23-24]。本研究中微生物商(MBC/SOC)基本表现为耕地>林地>草地>未利用地,其中耕地和林地土壤 MBC/SOC 比例差异不显著($p > 0.05$),其原因主要是因为微生物主要集中在表层土壤,林地和草地转变为耕地,表层微生物商

不同程度地减少,也说明了林地和草地转变为耕地地降低了有机碳的转化效率,进而减少了有机碳含量;与此同时,土壤活性有机碳占有有机碳的比例在受到土地利用变化后的改变程度比活性有机碳要小得多,这与前人的研究结果一致^[21-22],也即土地利用变化对土壤活性有机碳的影响高于对土壤活性有机碳占有有机碳比例的影响。可能是因为土地利用变化后,一方面使土壤有机质数量发生变化而影响土壤活性有机碳和有机碳含量,另一方面也使土壤有机质的稳定性和质量发生变化而使土壤活性有机碳与非活性有机碳发生转变。

相关性分析表明(表3),土壤活性有机碳各组分与 SOC, TN, TK 均具有极显著相关性关系,这与前人的结果吻合,可能是因为土壤有机质中氮的含量会影响到微生物对其分解和利用速度,含氮量高的有机质易被微生物分解,迁移、转化速度快,从而对土壤有机碳的含量产生一定影响。并且不同土地利用类型土壤 EOC, POC, LFOC, WSOC 和 MBC 含量两两之间具有极显著相关性($p < 0.05$),说明土壤活性有机碳很大程度上依赖于有机碳含量,活性有机碳各组分之间相互影响和密切联系的,其中 SOC, TN 和 TK 是不同土地利用类型土壤活性有机碳变化的重要影响因素。

4 结论

(1) 新疆艾比湖不同土地利用类型土壤机械组成不尽一致,土壤总孔隙度与土壤容重变化趋势相反。不同土地利用类型对土壤养分具有较大影响,土壤有机碳、全氮、全磷和全钾均呈现出一致性规律,大致表现为林地>草地>耕地>未利用地,而不同土地利用类型土壤全磷差异并不显著($p > 0.05$)。

(2) 通过变异系数可知,不同土地利用类型土壤养分具有高度的空间变异性,即在相同的区域不同类型其含量存在明显的差异。

(3) 不同土地利用类型土壤易氧化有机碳(EOC)、颗粒有机碳(POC)、轻组有机碳(LFOC)、水溶性有机碳(WSOC)、土壤微生物量碳(MBC)和微生物量氮(MBN)均呈现出一致性规律,大致表现为林地>耕地>草地>未利用地。

(4) 林地和草地 EOC/SOC 比例显著低于耕地和未利用地,说明林地和草地转变成耕地降低了土壤有机碳的稳定性;微生物商(MBC/SOC)基本表现为耕地>林地>草地>未利用地,其中耕地和林地土壤 MBC/SOC 比例差异不显著($p > 0.05$)。

(5) 相关性分析表明,土壤活性有机碳各组分与SOC, TN, TK 均具有极显著相关性关系,并且不同土地利用类型土壤 EOC, POC, LFOC, WSOC 和 MBC 含量两两之间具有极显著相关性($p < 0.05$),说明土壤活性有机碳很大程度上依赖于有机碳含量,活性有机碳各组分之间相互影响和密切联系的,其中SOC, TN 和 TK 是不同土地利用类型土壤活性有机碳变化的重要影响因素。

参考文献:

- [1] Ehrenfeld J G. Effects of exotic plant invasions on soil nutrient cycling processes[J]. *Ecosystems*, 2003, 6(6): 503-523.
- [2] Stoorvogel J J, Smaling E M A, Janssen B H. Calculating soil nutrient balances in Africa at different scales [J]. *Fertilizer Research*, 1993, 35(3): 227-235.
- [3] Guo L B, Gifford R M. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis [J]. *Global Change Biology*, 2002, 8(4): 345-360.
- [4] Fraterrigo J M, Turner M G, Pearson S M, et al. Effects of past land use on spatial heterogeneity of soil nutrients in southern Appalachian forests[J]. *Ecological Monographs*, 2005, 75(2): 215-230.
- [5] Dupouey J L, Dambrine E, Laffite J D, et al. Irreversible impact of past land use on forest soils and biodiversity[J]. *Ecology*, 2002, 83(11): 2978-2984.
- [6] Franzluebbers A J, Haney R L, Honeycutt C W, et al. Flush of carbon dioxide following rewetting of dried soil relates to active organic pools[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2000, 64(2): 613-623.
- [7] Walkley A. A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents [J]. *Soil Science*, 1947, 63(4): 251-264.
- [8] Fontaine S, Barot S, Barré P, et al. Stability of organic carbon in deep soil layers controlled by fresh carbon supply[J]. *Nature*, 2007, 450(7167): 277-280.
- [9] Cambardella C A, Elliott E T. Carbon and nitrogen dynamics of soil organic matter fractions from cultivated grassland soils [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1994, 58(1): 123-130.
- [10] Cambardella C A, Elliott E T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1992, 56(3): 777-783.
- [11] 刘纪远, 张增祥, 徐新良, 等. 21 世纪初中国土地利用变化的空间格局与驱动力分析[J]. *地理学报*, 2009, 64(12): 1411-1420.
- [12] 吴世新, 周可法, 刘朝霞, 等. 新疆地区近 10 年来土地利用变化时空特征与动因分析[J]. *干旱区地理*, 2005, 28(1): 52-58.
- [13] 杨燕玲. 新疆各地州市土地利用变化及驱动力分析[J]. *水土保持研究*, 2006, 13(5): 166-168.
- [14] 曹月娥, 杨建军, 马媛. 新疆土地利用总体规划中的区域资源环境承载力分析[J]. *干旱区资源与环境*, 2008(1): 44-49.
- [15] 吴敬禄, 沈吉, 王苏民, 等. 新疆艾比湖地区湖泊沉积记录的早全新世气候环境特征[J]. *中国科学: D 辑*, 2003, 33(6): 569-575.
- [16] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 农业出版社, 2000.
- [17] 杨燕玲. 新疆各地州市土地利用变化及驱动力分析[J]. *水土保持研究*, 2006, 13(5): 166-168.
- [18] 杨涵, 王芳芳, 吴世新, 等. 基于分形理论的新疆土地利用空间格局分析[J]. *干旱区研究*, 2009(2): 48-53.
- [19] 张飞, 丁建丽, 王伯超, 等. 干旱区绿洲土地利用/覆被及景观格局变化特征: 以新疆精河县为例[J]. *生态学报*, 2009, 29(3): 1251-1263.
- [20] Zou X M, Ruan H H, Fu Y, et al. Estimating soil labile organic carbon and potential turnover rates using a sequential fumigation-incubation procedure[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2005, 37(10): 1923-1928.
- [21] Yang Y, Guo J, Chen G, et al. Effects of forest conversion on soil labile organic carbon fractions and aggregate stability in subtropical China [J]. *Plant and Soil*, 2009, 323(1/2): 153-162.
- [22] Jiang P K, Xu Q F, Xu Z H, et al. Seasonal changes in soil labile organic carbon pools within a *Phyllostachys praecox* stand under high rate fertilization and winter mulch in subtropical China [J]. *Forest Ecology and Management*, 2006, 236(1): 30-36.
- [23] Fang C, Smith P, Moncrieff J B, et al. Similar response of labile and resistant soil organic matter pools to changes in temperature[J]. *Nature*, 2005, 433(7021): 57-59.
- [24] Haynes R J. Labile organic matter as an indicator of organic matter quality in arable and pastoral soils in New Zealand [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2000, 32(2): 211-219.