

新疆艾比湖地区不同土地利用方式土壤养分、酶活性及微生物特性研究

张晓东¹, 李忠¹, 张峰²

(1. 巴音郭楞职业技术学院生物工程学院, 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:新疆艾比湖地区在我国内陆荒漠自然生态系统中具有典型性和较高研究价值,通过对不同土地利用方式土壤进行采样和分析,系统地研究和比较了不同土地利用方式土壤机械组成、酶活性及微生物特性(土壤微生物量和微生物数量)。结果表明:新疆艾比湖不同土地利用方式土壤机械组成不尽一致,黏粒含量占主导地位,粗砂粒含量相对较低,土壤总孔隙度与土壤容重变化趋势相反。不同土地利用方式对土壤养分具有较大影响,不同土地利用方式下土壤养分(有机碳、全氮、全磷)和有效养分(有效磷、有效氮、有效钾、有效锌、有效铁含量)均呈现出一致性规律,大致表现为林地>草地>耕地>未利用地,土壤全磷在不同土地利用方式下差异均不显著($p>0.05$);与耕地相比,土壤微生物量碳和氮、土壤微生物数量(细菌、真菌和放线菌),土壤酶活性(土壤蔗糖酶、脱氢酶、脲酶、酸性磷酸酶活性)均有明显的增加,大致表现为:林地>草地>耕地>未利用地;相关性分析表明,土壤微生物量碳和氮、细菌、放线菌和真菌数量、蔗糖酶、脱氢酶、脲酶和磷酸酶活性均呈显著或者极显著的负相关($p<0.05$, $p<0.01$);土壤有机质和全氮与蔗糖酶、脱氢酶、磷酸酶和细菌数量呈极显著正相关($p<0.01$),土壤有效养分与土壤微生物量碳、细菌数量和蔗糖酶活性呈显著或极显著正相关($p<0.05$, $p<0.01$),说明土壤微生物量碳仍是有效养分的主要来源,其中土壤容重对土壤微生物量、微生物数量和酶活性贡献为负,土壤养分对土壤微生物量、微生物数量和酶活性贡献为正,这是造成不同土地利用方式土壤微生物量、微生物数量和酶活性差异的重要原因,其中有机质和全氮是土壤微生物量、微生物数量和酶活性的主要养分来源。

关键词:艾比湖;土地利用方式;土壤养分;土壤微生物

中图分类号:S153.2

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2017)06-0091-06

Soil Enzyme Activities and Microbial Characteristics 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, Xinjinag 841000, China)

Abstract: The Aibinur Lake region had great position for its ecology and geography. As the essential indicators of soil quality, soil enzyme activities and soil microbial biomass play an important role in many soil chemical, physical and biological properties. A field experiment was conducted to determine the variation of soil enzyme activities and soil microbial biomass under different land use patterns in Aibinur Lake region of Xinjiang. The results are as follows. (1) Coarse silt is dominant in soil, in addition to the coarse sand grains, the land uses have significant effects on the contents of the rest fractions, the hierarchy is not obvious. 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 soil available nutrients (available phosphorus, available potassium, available potassium zinc, available iron) had the same change trends, which decreased in the order: forestland>grassland>cultivated land>unused land, while the soil total phosphorus had no significant difference under different land use patterns ($p>0.05$). Compared with cultivated land, there was the significant increase in soil microbial biomass (carbon and nitrogen), soil microbial quantity (bacteria, fungi and actinomycetes) and soil enzyme activities (invertase, dehydrogenase, urease and phosphatase), which decreased in the order: forest land>grassland>

cultivated land>unused land. Correlation analysis showed that there was the extremely significant difference between soil microbial biomass and soil microbial quantity, soil enzyme activity ($p<0.05$, $p<0.01$), soil organic matter and total nitrogen had the extremely significant difference with soil enzyme activity ($p<0.01$), while soil bulk density had the extremely negatively significant difference with soil microbial biomass and soil microbial quantity, soil enzyme activity, which indicated that soil microbial biomass is the main source of available nutrients, and soil pH value had the negative contribution to soil microorganism quantity and enzyme activity, while soil nutrient had the positive contribution, which was the mainly reason for the differences in soil microorganism quantity and enzyme activity. Soil organic matter and total nitrogen were the main sources of nutrients.

Keywords: Aibinur Lake; land use patterns; soil nutrients; soil microbial

土壤酶活性和微生物量(土壤养分)是植物生长必不可少的限制性因子,作为各种气候、地形因子以及人类活动等综合作用的结果,深刻影响着地球生态系统的土壤质量与生产力^[1-5];土壤酶是由土壤微生物分泌的具有高效性的活性物质,作为重要的蛋白质性质的生物催化剂,在土壤各种生化反应过程中发挥着重要作用,也是有机质分解过程、物质循环、能量流动等过程中不可或缺的组成部分^[6-7];土壤微生物量是地下生态系统代谢的主要驱动力,在一定程度上反映了土壤物质交换与能力流动的程度,经常被作为反应地下生态系统变化的敏感指标和预警阈值^[8-9],主要是由土壤微生物、植物根系分泌物、腐解的动植物残体产生,参与土壤中各种有机物质的合成、转化与分解,无机物质的氧化还原等过程。土地利用是人类干预土壤肥力(土壤酶活性和微生物量)最直接、最重要的表现形式之一,主要是通过改变土壤养分循环的总量、强度以及路径等发生过程,通过影响水、热等环境条件等进而影响到土壤养分(土壤酶活性和微生物量)转化与流动过程^[10]。土地利用方式的改变会引起生物地球化学循环过程发生变化,进而导致土地生产力的改变和土壤养分(土壤酶活性和微生物量)循环过程;合理的土地利用方式能够改善土壤物理化学结构,增强对外界环境胁迫的抵抗力,然而不合理的土地利用方式造成土壤质量下降,并且加速侵蚀和土壤退化等过程^[11-12]。

我国可利用土地面积较少,随着精细农业的发展与兴起,亟需掌握不同土地利用方式下土壤养分(土壤酶活性和微生物量)循环过程及变迁规律,以便于合理优化土地管理和土壤的可持续利用发展^[13-14]。新疆是我国干旱—半干旱地的主要的集中区域,该区域水、热、光、土、气条件的独特性,形成了独具特色的农业产业链,因此新疆具备了建立高产、优质、高效农业的先天性优越条件,然而独特的气候条件也造成了该区土壤退化,养分循环受阻等,伴随着随着不合理的土地利用方式引起的土壤质量等问题逐步受到关

注。有鉴于此,研究不同土地利用方式土壤养分的转变可为该区土壤质量的有效提高与利用提供基本的数据支撑。本论文以新疆艾比湖为研究对象,探讨不同土地利用方式下土壤酶活性、土壤微生物量的变化趋势,旨在揭示不同土地利用方式对土壤养分及质量演变的作用机制,对该区土壤退化和有效恢复具有一定的指导意义,同时也为新疆土地资源质量的有效调控及土地的可持续发展理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

艾比湖流域($43^{\circ}38'—45^{\circ}52'N$, $79^{\circ}53'—85^{\circ}02'E$)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,位于新疆维吾尔自治区的西北部,准噶尔盆地西南方向。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 $6.6\sim7.8^{\circ}C$,多年平均降水量 $116.0\sim169.2\text{ mm}$,年蒸发量为 $1\,626\text{ mm}$ 左右(近 10 a 数据),年降水量不足 100 mm ,年平均 ≥ 8 级以上大风 165 d,极大风速达 55 m/s 。该流域土壤多为戈壁及亚沙土,地表植被多稀疏且分布不均,地表、地下水资源的提供与补给主要来源于山区,地势西南高,东北低,同时由于春夏降雨及雪山融水原因,地表侵蚀现象严重。该流域内有 33 条沟系和 7 条主要河流,水资源量为 37.8 亿 m^3 ,土地次生盐碱化较为明显,土地退化和生态环境问题严重突出,地理位置及区域具有重要性^[15-16]。

1.2 土壤样品采集

于 2015—2016 年的 9 月中旬,对 4 种不同土地利用方式取样(林地、草地、耕地、未利用地),其中林地以梭梭(*Haloxylon ammodendron*)和怪柳(*Tamarix chinensis*)为主,草地以温性荒漠草原为主,伴生羊茅(*Festuca ovina*),针茅(*Stipa capillata*),冰草(*Agropyron cristatum*)等,耕地以为玉米地为主,未

利用地为>20 a 的弃耕地,每种土地利用方式设置 5 个重复样地(样地面积为 100 m×100 m 左右),每个样地相距 100 m 左右,随机设置 5 个采样点,每个采样点间距在 10 m 以上,每个采样点重复取 5 次作为平行(间隔 2 m),为了保证取样条件的一致性,所取样的土壤坡度均小于 5°(合计: $n=400$)。除去表层的枯落物层,四分法取 1 kg 左右的土壤样品(0—20 cm 混合土样),所取的土壤样品分为两部分,一部分鲜土现场过 2 mm 筛后 4℃保温冰箱保存,另一部分带回实验室风干后去除杂质对其养分和有效养分进行测定;一份 4℃保存用于测定土壤微生物量。在每个样点附近挖取相同深度对的剖面测定土壤容重(环刀法, g/cm^3)并计算土壤孔隙度(%)。

1.3 土壤养分和酶活性测定

土壤自然风干(20 d)后过 2 mm 筛(去除植物根系等杂物)。土壤有机碳(SOC)采用重铬酸钾氧化外加加热法进行测定;土壤全氮采用开氏消煮法测定;土壤全磷采用 NaOH 碱溶—钼锑抗比色法;土壤有效磷采用 NaHCO_3 浸提—钼锑抗比色法;土壤有效氮采用 $\text{NaOH}-\text{H}_3\text{BO}_3$ 法;土壤有效钾采用乙酸铵浸提—火焰光度计法;土壤有效性铜、锌、铁的测定采用 DTPA 提取—原子吸收光谱法^[17];土壤颗粒组成采用吸管法测定,根据美国农业部制将土壤颗粒级别分为:2~0.5 mm(粗砂粒),0.5~0.25 mm(中砂粒),0.25~0.05 mm(细砂粒),0.05~0.002 mm(粉粒)、<0.002 mm(黏粒)。采用平板梯度稀释法测定土壤微生物的数量^[17],其中牛肉膏蛋白胨琼脂为细菌培养基,马丁氏培养基为真菌培养基,高氏一号琼脂为放线菌培

养基;采用氯仿熏蒸—0.5 mol/L 的 K_2SO_4 浸提法测定土壤微生物生物量碳和氮^[17];土壤酶活性的测定^[17]:采用分光光度计比色法测定土壤酶活性,测定酶活种类为蔗糖酶、脱氢酶、脲酶和酸性磷酸酶。

1.4 统计分析

利用 SPSS 18.00 和 Excel 2007 对数据进行整理和分析,单因素方差分析(One-way ANOVA)和邓肯新复检验法对处理之间的差异进行统计,各试验结果用平均值±标准误差的形式表示,Pearson 相关分析系数探讨土壤养分之间的相关程度。

2 结果与分析

2.1 不同土地利用方式土壤颗粒分布特征

分析和对比了不同土地利用方式下土壤粒径分布及分形维数(表 1)。由表 1 看出,土壤粒径分布在不同土地利用方式有着有明显的不同,其中黏粒百分比占主导地位,范围变化为 44.13%~69.13%。细砂粒和中砂粒含量百分比分别位于 3.56%~18.37%和 2.17%~8.16%,粗砂粒含量相对较低。研究区土壤颗粒分形维数变化范围是 2.615~2.979,表明土壤质量较好。有较高分形维数的地类对应于较高的土壤质量。因此,与单纯依靠土壤粒径分布或土壤质地相比,土壤颗粒分形维数在比较不同土地利用方式土壤质量时能提供更多的信息。不同土地利用方式的分形维数表现为未利用地>草地>耕地>林地,说明未利用地的土壤相对更好,这是因为条件好、土层厚的土地主要用来种植农作物,而大多数林地植被生长在立地条件相对较差的环境。

表 1 土壤颗粒的粒径分布与分形特征

项目	颗粒组成					分形 维数	容重/ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	总孔 隙度/%
	粗砂	中砂	细砂	粉粒	黏粒			
	2~0.5 mm	0.5~0.25 mm	0.25~0.05 mm	0.05~0.002 mm	<0.002 mm			
耕地	3.12	4.58	18.37	29.8	44.13	2.857	0.89±0.06 c	47.56±3.26 a
林地	12.06	3.69	3.56	18.1	62.59	2.615	0.96±0.15 b	46.23±5.13 a
草地	4.89	2.17	12.47	11.34	69.13	3.189	1.03±0.36 b	41.38±2.15 b
未利用地	5.69	8.16	9.25	9.78	67.12	3.256	1.27±0.25 a	40.59±3.59 b
平均值	6.44	4.65	10.91	17.26	60.74	2.979	1.04±0.18	43.94±5.18
<i>p</i>	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
<i>F</i>	92.36	102.85	75.12	69.38	116.57	156.9	68.77	92.35

注:相同小写字母表示在 0.05 水平上差异不显著,下同。

2.2 不同土地利用方式土壤养分含量特征

由表 2 可知,在林地、草地、耕地、未利用地 4 种不同土地利用方式下,土壤养分和有效养分均呈现出一致性规律,大致表现为林地和草地高于耕地和未利用地;其中林地和草地土壤有机碳含量差不显著($p>0.05$),二者显著高于耕地和未利用地($p<$

0.05),耕地和未利用地差异显著($p<0.05$);土壤全氮依次表现为林地>草地>耕地>未利用地,其中不同土地利用方式土壤全氮含量差异均显著($p<0.05$);土壤全磷含量依次表现为林地>草地>未利用地>耕地,不同土地利用方式土壤全磷含量差异均不显著($p>0.05$);土壤有效磷和有效氮含量依次

表现为林地>草地>耕地>未利用地,其中不同土地利用方式土壤有效磷和有效氮含量差异均显著($p<0.05$);土壤有效钾含量依次表现为林地>草地>未利用地>耕地,未利用地和耕地土壤有效钾含量差异不显著($p>0.05$),二者显著低于林地和草地;土

壤有效锌含量依次表现为林地>草地>未利用地>耕地,林地和草地土壤有效钾含量差异不显著($p>0.05$),二者显著高于未利用地和耕地;土壤有效铁含量依次表现为林地>草地>耕地>未利用地,未利用地最低($p<0.05$)。

表 2 不同土地利用方式土壤养分

项目	有机碳/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	全氮/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	全磷/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	有效磷/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	有效氮/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	有效钾/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	有效锌/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	有效铁/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
耕地	3.26±0.26b	1.03±0.12c	0.76±0.06a	20.58±1.23c	9.56±1.57c	79.23±5.24c	1.50±0.23b	7.25±0.72b
林地	5.34±0.52a	1.56±0.15a	0.85±0.05a	26.23±2.06a	15.26±2.85a	86.52±5.13a	1.69±0.16a	8.56±0.56a
草地	5.02±0.32a	1.42±0.23b	0.82±0.09a	24.16±1.54b	13.25±1.46b	83.15±4.98b	1.68±0.28a	8.03±1.23ab
未利用地	2.03±0.24c	0.81±0.08d	0.77±0.11a	16.37±1.28d	6.24±0.87d	77.16±3.54c	1.37±0.16c	6.13±0.85c
平均值	3.91±0.31	1.21±0.11	0.80±0.08	21.84±1.02	11.08±2.13	81.52±4.77	1.56±0.25	7.49±0.98
p	<0.05	<0.05	>0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
F	86.23	75.35	156.29	123.68	104.79	89.56	78.25	69.13

2.3 不同土地利用方式土壤微生物碳和氮

从表 3 可以看出,不同土地利用方式土壤微生物量碳(MBC)和微生物量氮(MBN)均呈现出一致性规律,大致表现为林地和草地高于耕地和未利用地;不同土地利用方式土壤微生物量碳含量变化范围为 73.02~136.56 mg/kg,不同土地利用方式土壤微生物量碳含量差异均显著($p<0.05$);不同土地利用方式土壤微生物量氮含量变化范围为 15.49~35.18 mg/kg,不同土地利用方式土壤微生物量氮含量差异均显著($p<0.05$);不同土地利用方式土壤微生物量碳/微生物量氮则呈现出相反的变化趋势(草地<林地<耕地<未利用地),变化范围为 3.88~4.71,草地、林地和耕地差异不显著($p>0.05$),显著低于未利用地($p<0.05$)。

表 3 不同土地利用方式土壤微生物生物量碳和氮

项目	土壤微生物量碳/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	土壤微生物量氮/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	SMBC/ SMBC
耕地	95.86±9.25c	24.13±2.16c	3.97±0.56b
林地	136.56±23.16a	35.18±3.02a	3.88±0.69b
草地	125.14±15.48b	30.57±3.15b	4.09±0.87b
未利用地	73.02±6.24d	15.49±1.48d	4.71±0.74a
Mean	107.65±8.17	26.34±2.07	4.17±0.75
p	<0.05	<0.05	<0.05
F	156.39	128.17	113.25

2.4 不同土地利用方式土壤微生物数量

土壤微生物数量分布是土壤中活性物质的具体体现之一,还能够敏感地反映土壤质量的变化。由表可知,土壤微生物数量与总微生物数量在不同土地利用方式下均具有较大的差异,其中各类菌数量与微生物总量保持一致的变化规律;与此同时,在组成类别中,细菌数量占据着绝对优势地位(其占比比较稿)。由表可知,不同土地利用方式土壤细菌数量变化范围为 0.61~1.75 cfu/g,基本表现为林地>草地

>耕地>未利用地,不同土地利用方式土壤细菌数量、放线菌数量差异均显著($p<0.05$);不同土地利用方式土壤真菌数量变化范围为 0.32~0.91 cfu/g,基本表现为林地>草地>耕地>未利用地,林地和草地差异不显著($p>0.05$),二者显著高于耕地和未利用地($p<0.05$);不同土地利用方式土壤微生物总数与 3 种菌类数量变化趋势相一致,基本表现为林地>草地>耕地>未利用地,林地和草地差异不显著($p>0.05$),二者显著高于耕地和未利用地($p<0.05$)。

表 4 不同土地利用方式土壤微生物数量

项目	细菌数量 ($\times 10^7$ cfu/g)	放线菌数量 ($\times 10^7$ cfu/g)	真菌数量 ($\times 10^7$ cfu/g)	微生物总数量 ($\times 10^7$ cfu/g)
耕地	0.95±0.12c	0.81±0.06c	0.64±0.08b	2.04±0.26b
林地	1.75±0.26a	1.26±0.21a	0.91±0.15a	3.68±0.15a
草地	1.42±0.35b	1.07±0.17b	0.89±0.16a	3.51±0.34a
未利用地	0.61±0.08d	0.34±0.15d	0.32±0.03c	1.25±0.21c
Mean	1.18±0.16	0.87±0.08	0.69±0.06	2.62±0.24
p	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
F	95.23	156.47	85.36	91.78

2.5 不同土地利用方式土壤酶活性

土壤酶活性能够灵敏地反映土壤管理措施的变化,可用于表征土壤养分循环速率。由表 5 可知,不同土地利用方式下土壤酶活性存在较大差异,不同土地利用方式土壤蔗糖酶活性变化范围为 62.58~121.47 mg/(g·d),基本表现为林地>草地>耕地>未利用地,不同土地利用方式土壤蔗糖酶活性均显著($p<0.05$);脱氢酶活性变化范围为 0.52~0.79 mg/(g·d),基本表现为林地>草地>耕地>未利用地,林地和草地差异不显著($p>0.05$),二者显著高于耕地和未利用地($p<0.05$);脲酶活性变化范围为 0.32~0.83 mg/(g·d),基本表现为林地>草地>耕地>未利用地,不同土地利用方式土壤

脲酶活性均显著($p<0.05$);酸性磷酸酶活性变化范围为 112.47~236.52 mg/(g·d),基本表现为林地>草地>耕地>未利用地,不同土地利用方式下酸性磷酸酶活性差异均显著($p<0.05$)。

表 5 不同施肥模式对葡萄根区土壤酶活性的影响

项目	蔗糖酶/ (mg·g ⁻¹ ·d ⁻¹)	脱氢酶/ (mg·g ⁻¹ ·d ⁻¹)	脲酶/ (mg·g ⁻¹ ·d ⁻¹)	酸性磷酸酶/ (mg·g ⁻¹ ·d ⁻¹)
耕地	83.69±5.63c	0.61±0.05b	0.57±0.12c	156.30±15.26c
林地	135.62±9.24a	0.79±0.04a	0.83±0.09a	236.52±26.35a
草地	121.47±13.65b	0.76±0.09a	0.72±0.06b	212.95±15.78b
未利用地	62.58±5.17d	0.52±0.08b	0.32±0.03d	112.47±10.24d
Mean	100.84±921	0.67±0.06	0.61±0.07	179.56±19.58
<i>p</i>	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
<i>F</i>	86.32	124.79	95.26	99.12

2.6 不同土地利用方式下土壤养分之间的相关性

由表 6 可知,土壤微生物量碳和氮、细菌、放线菌和真菌数量、蔗糖酶、脱氢酶、脲酶和磷酸酶活性均呈显著或者极显著的负相关($p<0.05$, $p<0.01$);土壤容重与土壤微生物量碳和氮、细菌、放线菌和真菌数量、蔗糖酶、脱氢酶、脲酶和磷酸酶活性均负相关;土壤有机质和全氮与土壤微生物量碳、微生物量氮、蔗糖酶、脱氢酶、磷酸酶活性呈极显著正相关($p<0.01$),土壤养分为土壤微生物提供了重要碳源和氮

源。土壤有效养分与土壤微生物量碳、细菌数量和蔗糖酶活性呈显著或极显著正相关($p<0.05$, $p<0.01$),说明土壤微生物量碳仍是有效养分的主要来源,其中土壤容重对土壤微生物量、微生物数量和酶活性贡献为负,土壤养分对土壤微生物量、微生物数量和酶活性贡献为正,这是造成不同土地利用方式土壤微生物量、微生物数量和酶活性差异的重要原因,其中有机质和全氮是土壤微生物量、微生物数量和酶活性的主要养分来源。

表 6 不同土地利用方式下土壤养分之间的相关性($n=80$)

项目	容重	总孔隙度	有机碳	全氮	全磷	有效氮	有效磷	有效钾	有效锌	有效铁
微生物量碳	-0.797**	0.478*	0.925**	0.856**	0.221	0.502*	0.865**	0.542*	0.678**	0.778**
微生物量氮	-0.578*	0.914**	0.814**	0.754**	0.542*	0.036	0.523*	0.401	0.314	0.314
细菌	-0.902**	0.527*	0.546*	0.325	0.524*	0.623*	0.621*	0.685**	0.474*	0.689**
放线菌	-0.703**	0.023	0.230	0.069	0.042	0.154	0.147	0.014	0.021	0.501*
真菌	-0.412	0.456	0.563*	0.328	0.098	0.069	0.236	0.025	0.147	0.014
蔗糖酶活性	-0.873**	0.514*	0.679**	0.712**	0.542*	0.752**	0.514*	0.578*	0.336	0.545*
脱氢酶活性	-0.756**	0.678**	0.714**	0.698**	0.203	0.152	0.412	0.202	0.207	0.303
脲酶活性	-0.642*	0.189	0.367	0.132	0.207	0.163	0.320	0.217	0.569*	0.207
磷酸酶活性	-0.773**	0.676**	0.837**	0.785**	0.014	0.238	0.247	0.131	0.103	0.152

注:*,**分别表示在 0.05,0.01 水平上差异显著(双尾)。

3 讨论与结论

土壤颗粒组成及分布特征是重要的物理属性,对土壤水热条件、肥力状况、养分循环等过程发挥着重要作用,对深入了解土壤退化和侵蚀等过程具有重要的研究意义^[18]。在本研究的土壤颗粒组成中,以黏粒含量占据着主导地位,粗砂粒含量相对较低,土壤总孔隙度与土壤容重变化趋势相反,这与前人研究结果相似^[19-20]。相较于耕地,未利用地、草地、林地,土壤大粒径颗粒呈现增加趋势,这主要是由于人类的耕作方式极大地造成土壤结构性破坏,在土壤团聚体形成过程中,小粒径的颗粒很难形成大颗粒团聚体;另外,耕作模式和管理方式加剧了土壤侵蚀,导致耕地的秸秆少部分归还到土壤中,这直接造成有机质的

分解和矿化降低,土壤颗粒的粘结作用造成耕地小粒径颗粒较多。相比较而言,草地和林地没有耕作措施和人为管理模式,土壤颗粒的粘结作用较强,增加了土壤团聚体的粘结作用,从而促进了土壤小颗粒物质通过团聚作用而形成的大颗粒物质。此外,林地较草地和耕地有丰富的凋落物和根系,对小粒径颗粒的粘结作用更强,同时植被层也保证的一定的水分条件,为微生物活动提供了更好的环境,并促进了微生物的代谢和生长,从而更进一步促进了小粒径物质团聚为大粒径物质^[19-20]。这也使得土壤养分、酶活性及微生物特性呈现出一致的变化规律。通常情况下,我们用土壤的分形维数类反映土壤质地组成的拘役程度以及肥力特征,并且与土壤的分形维数土壤结构稳定性密切相关,主要表现为分形维数越小,土壤结构也就越稳定^[21-22]。

由表1可知,耕地土壤的分形维数均显著高于林地和草地,由此表明林地和草地的土壤物理结构相对稳定,这与不同土地利用方式下根系分布格局有关,主要是因为土壤结构体的形成过程中,庞大的根系对土壤的穿插和缠结等作用发挥着重要的作用。

本研究显示不同土地利用方式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,不同土地利用方式对土壤养分具有较大影响,土壤养分呈现出一致性规律,大致表现为林地>草地>耕地>未利用地;主要是由于土壤养分来源于地表枯枝落叶层的积累、分解和矿化,林地植被盖度和生物量相对较高,受人为干扰的影响小,有机质量积累多而分解少,因此林地土壤养分、微生物特性及土壤酶活性最高,耕地与此相反,地表几乎没有枯枝落叶层,造成养分循环代谢较低,土壤养分含量相对较低。土壤微生物数量与其发挥的生态功能紧密相关,在一定程度上能够反映出土壤质量的好坏^[23-24];而土壤酶活性能够表征土壤碳的代谢循环和微生物活性,反映出土壤养分的累积、分解和矿化等规律;相比于耕地,不同土地利用方式土壤酶活性、微生物量碳和氮、微生物数量均有所增加,这与不同土地利用方式下土壤养分及有机质的变化趋势相一致。相关性分析表明:土壤酶活性、微生物数量与土壤养分之间具有较强的相关性,土壤养分与土壤微生物数量和土壤酶活性呈显著的正相关关系,由此表明了土壤有机质作为碳源和其他营养成分的来源,有利于微生物代谢功能和土壤酶活性代谢的提高;而土壤微生物数量、土壤酶活性与土壤有效养分含量呈负相关关系,这与前人的研究结果相似^[23-24]。

参考文献:

- [1] 张旭东,梁超,诸葛玉平,等.黑碳在土壤有机碳生物地球化学循环中的作用[J].土壤通报,2003,34(4):349-355.
- [2] 姜明,吕宪国,杨青,等.湿地微生物地球化学循环及其环境效应[J].土壤学报,2006,43(3):493-499.
- [3] 熊汉锋,王运华.湿地碳氮磷的生物地球化学循环研究进展[J].土壤通报,2005,36(2):240-243.
- [4] 宋会兴,苏智先,彭远英.山地土壤肥力与植物群落次生演替关系研究[J].生态学杂志,2005,24(12):1531-1533.
- [5] 刘忠宽,汪诗平,陈佐忠,等.不同放牧强度草原休牧后土壤养分和植物群落变化特征[J].生态学报,2006,26(6):2048-2056.
- [6] 王树起,韩晓增,乔云发.根系分泌物的化感作用及其对土壤微生物的影响[J].土壤通报,2007,38(6):1219-1226.
- [7] 李娇,蒋先敏,尹华军,等.不同林龄云杉人工林的根系分泌物与土壤微生物[J].应用生态学报,2014,25(2):325-332.
- [8] 吴建峰,林先贵.土壤微生物在促进植物生长方面的作用[J].土壤,2003,35(1):18-21.
- [9] 钟文辉,蔡祖聪.土壤管理措施及环境因素对土壤微生物多样性影响研究进展[J].生物多样性,2004,12(4):456-465.
- [10] 俞慎,何振立,黄昌勇.重金属胁迫下土壤微生物和微生物过程研究进展[J].应用生态学报,2003,14(4):618-622.
- [11] 傅伯杰,郭旭东,陈利顶,等.土地利用变化与土壤养分的变化:以河北省遵化县为例[J].生态学报,2001,21(6):926-931.
- [12] 王洪杰,史学正,李宪文,等.小流域尺度土壤养分的空间分布特征及其与土地利用的关系[J].水土保持学报,2004,18(1):15-18.
- [13] 刘全友,童依平.北方农牧交错带土地利用类型对土壤养分分布的影响[J].应用生态学报,2005,16(10):1849-1852.
- [14] 孔祥斌,张凤荣,王茹,等.城乡交错带土地利用变化对土壤养分的影响:以北京市大兴区为例[J].地理研究,2005,24(2):213-221.
- [15] 王合玲,张辉国,秦璐,等.新疆艾比湖流域土壤有机质的空间分布特征及其影响因素[J].生态学报,2012,32(16):4969-4980.
- [16] 张雪妮,吕光辉,贡璐,等.新疆艾比湖湿地自然保护区不同土壤类型无机碳分布特征[J].中国沙漠,2013,33(4):1084-1090.
- [17] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [18] 王洪杰,李宪文,史学正,等.不同土地利用方式下土壤养分的分布及其与土壤颗粒组成关系[J].水土保持学报,2003,17(2):44-46.
- [19] 党亚爱,李世清,王国栋,等.黄土高原典型土壤剖面土壤颗粒组成分形特征[J].农业工程学报,2009,25(9):74-78.
- [20] 张世熔,黄元仿,李保国.冲积平原区土壤颗粒组成的趋势效应与异向性特征[J].农业工程学报,2004,20(1):56-60.
- [21] 刘付程,史学正,王洪杰,等.苏南典型地区土壤锌的空间分布特征及其与土壤颗粒组成的关系[J].土壤,2003,35(4):330-333.
- [22] 冯娜娜,李廷轩,张锡洲,等.不同尺度下低山茶园土壤颗粒组成空间变异性特征[J].水土保持学报,2006,20(3):123-128.
- [23] 姚槐应,何振立,陈国潮,等.红壤微生物量在土壤—黑麦草系统中的肥力意义[J].应用生态学报,1999,10(6):725-728.
- [24] 曾路生,廖敏,黄昌勇,等.镉污染对水稻土微生物量,酶活性及水稻生理指标的影响[J].应用生态学报,2005,16(11):2162-2167.