

青海共和盆地不同人工灌木群落土壤碳密度研究^①

尹书乐, 王学全*, 李少华

(中国林业科学研究院荒漠化研究所, 北京 100091)

摘要: 共和盆地高寒沙区植被恢复区 4 种典型人工灌木林是柠条(*Caragana korshinskii*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、沙柳(*Salix psammophila*)和乌柳(*Salix cheilophila*)。土壤有机碳密度调查研究表明, 不同灌木群落类型下的土壤有机碳密度(0~100 cm)由大到小是: 沙棘 9.42 kg/m²、沙柳 6.73 kg/m²、乌柳 6.06 kg/m²、草地 4.56 kg/m²、柠条 3.67 kg/m²。不同灌木林地 0~100 cm 土壤质地和分层状况不同, 土壤有机碳含量随着土壤深度增加而减少, 表层(0~10 cm)含量最高。与对照样地草地相比, 位于丘间地的林地土壤有机碳含量均有不同程度的提高。

关键词: 共和盆地; 人工灌木林; 土壤有机碳; 土壤质地

中图分类号: S714; S793

土壤有机碳库是地球表层生态系统中最大的碳库, 约是植被中碳储量的 2~3 倍, 是大气中的 2 倍^[1-2], 土壤有机碳储量分布及转化对大气 CO₂ 浓度影响显著。许多学者对土壤有机碳进行了研究, 解宪丽等^[3]基于土壤普查数据, 估算出全国 100 cm 土壤有机碳储量为 8.44×10¹⁰ t; 王根绪等^[4]、田玉强等^[5]用土壤类型法计算青藏高原草地土壤有机碳; 曾永年等^[6]以黄河源区为例估算高寒草地沙漠化土地固碳潜力; 以上区域土壤碳库估算的可靠性取决于土壤调查资料的精度。近年来针对特定生态系统土壤有机碳的定位监测研究受到普遍重视。植被与土壤有着密切的关系, 植物不仅从土壤中吸收必需的营养物质, 同时植物残体是土壤有机质的重要来源之一。不同人工林土壤有机碳含量差异显著, 人工林储量低于天然林, 且土壤有机碳具有明显的垂直分异性和区域分布差异性^[7]。

自然因素和人为因素是影响土壤有机碳储量主要原因, 土地利用方式的改变在土壤有机碳储量有明显的影响。就荒漠生态系统土壤有机碳而言, 一方面荒漠化(或土地退化)是土壤碳库衰减的生物学过程, Lal^[8]发现沙漠化引起全球碳库损失量为 1.9×10¹⁰~2.9×10¹⁰ t; 另一方面, 通过实施生物固沙措施, 固沙防护林林下风沙土发生了明显改善^[9], 逐步演变成

固定风沙土, 土壤有机碳含量显著提高^[10]。然而到目前为止, 关于高寒干旱沙区人工植被建植后对土壤有机碳及其储量影响没有得到充分重视和详细研究。土壤碳库的研究区域重点集中在湿润地区的热带雨林, 半湿润地区的北方森林系统, 以及干旱半干旱区的草地、荒漠生态系统等。对于共和盆地这一独特地理单元而言, 沙区人工植被特别是灌木林群落对土壤有机碳密度以及储量的影响仍然不很清楚。

研究植被恢复区不同灌木群落下土壤有机碳密度对于有效管理土壤碳库, 减少大气 CO₂ 含量有着至关重要的作用。位于青藏高原东北部的共和盆地, 是青藏高原土地荒漠化的典型区域之一, 在气候上属于高寒干旱荒漠与半干旱草原的过渡区域, 由于海拔高、气温低的原因, 较其他沙漠化地区有着高寒的特殊性^[11]。灌木因其地上多分枝的茎与近地的树冠具有很强防风固沙能力, 已经被广泛用于高寒沙区植被恢复工程中, 在生态系统重建过程中扮演着重要角色^[12]。在生态环境脆弱地区, 建设防护林与植被恢复工程, 不仅具有防风固沙生态效益, 而且通过植被固碳, 成为减少碳损耗的有效方式^[13]。本研究以青海共和盆地高寒沙区植被恢复示范区为研究区域, 通过植被恢复区典型人工灌木群落植被调查和土壤取样分析, 探

基金项目: 国家“十二五”科技支撑课题项目(2012BAD16B0105)、林业行业公益项目(201404304)和国家自然科学基金项目(41130640)资助。

* 通讯作者(wxq@caf.ac.cn)

作者简介: 尹书乐(1988—), 男, 河北保定人, 硕士研究生, 主要从事干旱区水文与水資源研究。E-mail: 765476293@qq.com

讨高寒沙区流动沙丘人工植被恢复过程中土壤有机碳储量影响因素和分布特征,以期了解高寒沙区人工植被恢复区的碳循环机理,为合理评估青藏高原植被恢复措施和气候变化对全球碳平衡的响应提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区处于共和盆地中西部,行政上处于青海省海南藏族自治州共和县沙珠玉乡,地理纬度 $99^{\circ}45' \sim 100^{\circ}30'E$, $36^{\circ}03' \sim 36^{\circ}40'N$,海拔 2 871 ~ 3 870 m。气温低,年均 $2.4^{\circ}C$;年降水量 246.3 mm,且主要集中在 5—9 月份,降雨季节分布不均,干湿季差异明显。干燥少雨的气候特征,加之大风的影响,使得该区域风沙活动频繁,沙丘固定难度大,风蚀荒漠化是当地土地荒漠化的主要成因,在一定程度上限制了当地植被恢复与重建^[14]。流动沙丘、半固定沙丘、固定沙丘和丘间地构成了研究区内的主要地貌类型^[15],随着沙障的引入,沙丘直播柠条、油蒿,丘间地进行乌

柳造林等措施,流动沙丘得到控制,逐步演变为半固定沙丘和固定沙丘。植被也由最初人工种植的单一灌木演变到出现 1 年生和多年生草本,植被种类增多,群落生态系统趋于稳定。

1.2 样地选择与设置

对青海省沙珠玉林场多方踏查的基础上,选取 4 种有代表性的固沙人工灌木林,分别为柠条(*Caegana korshinskii*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、沙柳(*Salix psammophila*)、乌柳(*Salix cheilophlia*)。样地林分基本情况见表 1。选取林龄相近、长势均匀的人工林作为调查样地,其中柠条位于沙丘(坡度 13° ,丘高 3 m),沙棘、沙柳、乌柳都位于丘间低地。同时选取没有人工造林,只采取封育措施自然恢复的草地作为对照样地。在每种调查样地选择植被群落分布和长势相对均匀的部位,设置 $20\text{ m} \times 20\text{ m}$ 大小的标准样地,用作调查取样。样地内凋落物厚度均有 $1 \sim 3\text{ cm}$,灌木群落凋落物主要是枯枝落叶及草本植被残体,草地凋落物主要是草本植被残体,土壤取样前先去除地表的枯枝落叶。

表 1 灌木林样地林分情况
Table 1 Stand conditions of shrub forest plots

群落类型	林龄(a)	树高(m)	基径(cm)	冠幅(东西 m × 南北 m)	郁闭度(%)
柠条	32	1.65	5.94	1.67 × 1.76	53
沙棘	31	2.24	4.60	1.54 × 1.50	68
乌柳	28	3.11	3.58	2.17 × 1.95	67
沙柳	28	2.44	4.24	1.72 × 1.64	71

1.3 研究方法

在每个调查样地内挖土壤剖面 100 cm,每 10 cm 一层,共 10 个层次,取 3 个重复。土样在室内自然风干后过 2 mm 筛,用塑料袋密封存放,备作有机质含量分析。同时用环刀法每 10 cm 取一个样,带回室内测定土壤体积质量。土壤有机质含量测定方法采用重铬酸钾氧化-油浴加热法^[16]。在挖好的土壤剖面根据土壤颜色划分层次,在划分好的每个层次取土样,用比重计法测定粒径组成,据此进行土壤质地分类。数据统计分析应用 SPSS18.0 软件包进行。采用单因素方差(one-way ANOVA)后选择 Duncan 方法进行多重比较,显著性检验水平为 $P < 0.05$ 。数据用平均值 ± 标准差表示。

土壤有机碳密度(SOC_i , kg/m^2)是指单位面积一定深度的土层中土壤有机碳的储量,计算方法参照以下公式^[17]:

$$SOC_i = 0.58 \times C_i \times D_i \times E_i (1 - G_i) / 100 \quad (1)$$

式中: SOC_i 为某一土层 i 的土壤有机碳密度,0.58 为有

机质转化成有机碳的系数(Bemmelan 系数), C_i 为室内分析得到的有机质含量(g/kg), D_i 为体积质量(g/cm^3), E_i 为土层厚度(cm), G_i 为砾石(直径大于 2 mm)所占的体积百分比。

0 ~ 100 cm 土壤有机碳密度 SOC 为各个土层有机碳密度 SOC_i 之和,计算公式如下:

$$SOC = \sum_{i=1}^{10} SOC_i \quad (2)$$

2 结果与分析

2.1 土壤分层状况

根据国际制土壤质地分级标准(砂粒、粉粒、黏粒所占的百分比),定义各层土壤的类别(图 1)。1 m 深的土壤剖面内土壤质地具有层次性,随着土壤深度的增加,土壤质地发生变化,剖面内的土壤属于不同的质地类型。不同灌木植被林下的土壤质地差异明显,其中柠条林下 0 ~ 100 cm 土壤都是砂土,沙棘、草地、沙柳、乌柳均出现分层情况,且粒径组成随深

度增加有先增大后减小的趋势，即先出现壤土、砂土、黏土的趋势。沙棘 0~10 cm 是砂质黏壤土，10~40 cm 是砂土，40~100 cm 是壤质黏土；草地 0~30 cm 是砂质黏壤土，30~60 cm 是砂土，60~100 cm 是砂质黏土；沙柳 0~20 cm 是砂质黏土，20~30 cm 是砂土，30~50 cm 是壤质黏土，50~100 cm 是砂质黏壤土；乌柳 0~20、55~90 cm 是砂质黏壤土，20~55、90~100 cm 是壤质黏土。3 种位于丘间地的灌木林地粒径要小于进行封育自然恢复的草地土壤粒径。

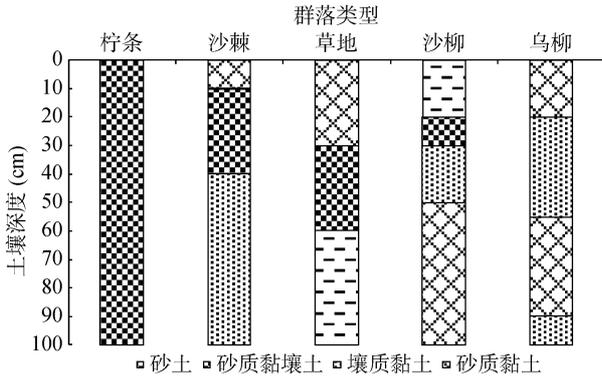


图 1 不同样地土壤分层状况
Fig. 1 Soil layered status of different plots

2.2 土壤体积质量比较

不同林分下土壤体积质量差异较大，且随着土壤深度的增加不断变化(图 2)。柠条、乌柳林下变化趋

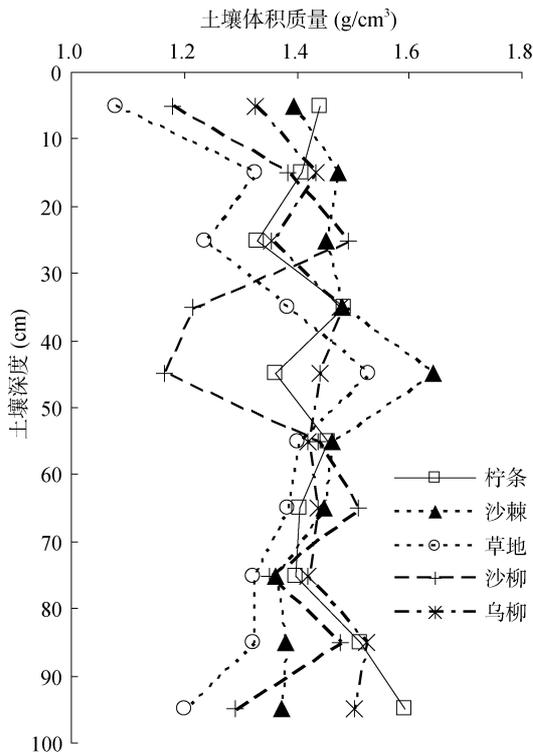


图 2 不同样地土壤体积质量
Fig. 2 Soil bulk density of different plots

势较缓，这与 0~100 cm 土层内土壤分层状况有关。而草地、沙棘、沙柳、乌柳土壤体积质量均有先升高后降低的趋势。不同林分下表层土壤体积质量均为最小，对照样地草地表层土壤体积质量明显低于其他林地，这与根系分布、常年枯落物堆积、表层腐殖质等使土壤疏松有关系。

2.3 不同样地土壤有机碳含量

自然因素及人为因素均能对土壤有机碳含量产生影响，地上植被枯落物的沉积、微生物分解等对土壤碳储量有直接影响，而林分类型以及土壤理化性质的差异，也会对土壤有机碳含量产生影响^[18]。由图 3 可见，不同林分类型及土层间有机碳含量存在明显差异，由于不同林地下枯落物组成、根系分布差异等因素的影响，土壤有机碳在土壤剖面的分布也随之出现差异。不同林分类型土壤各层有机碳含量介于 2.19~25.21 g/kg 之间，最大值是最小值的 11.51 倍，各林分类型土壤层有机碳含量均以表土层(0~10 cm)最大，且随着土层深度的增加，土壤有机碳含量有递减的趋势。草地和柠条林下土壤有机碳含量变化较为缓慢，而沙棘、沙柳、乌柳变化显著。在 0~30 cm 乌柳林土壤有机碳含量最高。0~40 cm 土壤有机碳含量变化显著，这可能与草本植物的根系吸收有关系。随着深度的增加，40 cm 以下土壤有机碳含量变化趋于平缓，仅沙棘林下土壤有机碳含量有明显增高的趋势。在 90~100 cm 不同林分间有机碳含量较为接近。

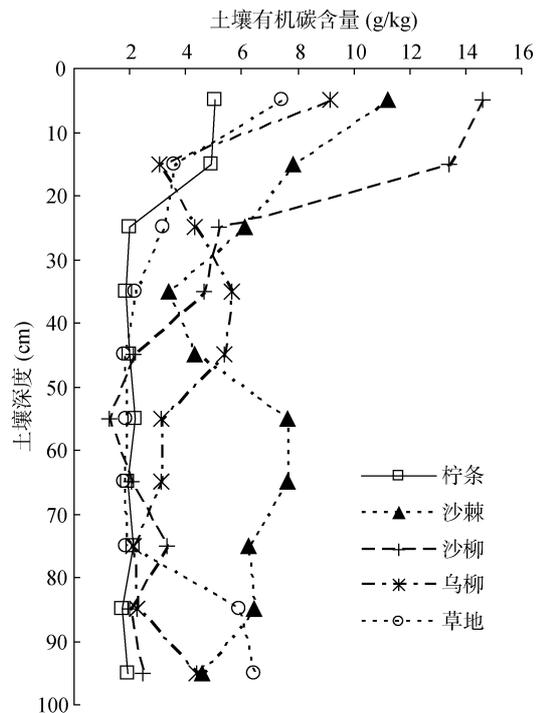


图 3 不同样地土壤有机碳含量
Fig. 3 Soil organic carbon contents of different plots

可见随着土壤深度的增加,土壤有机碳含量逐渐减少,当达到一定深度时,林分类型对有机碳含量的影响越来越小。在相同土层深度,受植被类型、土壤质地等条件的影响,土壤有机碳含量差异较大。

2.4 不同样地土壤有机碳密度

土壤有机碳密度用单位面积内一定深度的土壤有机碳含量表示,通常采用 1 m 深的土壤为标准,但由于土壤发育程度不同,各种林分类型的土壤厚度均存在差异,为避免因调查标准不同产生的误差,本试验所有样地均选取 1 m 土壤层为标准。不同人工灌木群落下,由于灌木本身根系分布、林下草本植被分布差异,凋落物分解程度及人文干扰等因素的影响,土壤有机碳含量与体积质量均发生改变,使土壤有机碳密度也随之出现差异。

样地调查显示,不同林分类型土壤有机碳密度随着土层深度的增加有降低的趋势,表层 0~10 cm 土

壤有机碳密度最大($P<0.05$),如表 2 所示。主要是由于植物根系集中分布在土壤表层,凋落物和腐殖层以及土壤微生物的分解对土壤有机碳的贡献主要作用于地表,随土壤深度的增加而减弱。同一深度,不同植被类型土壤有机碳密度差异显著($P<0.05$),说明林分类型对土壤有机碳密度有一定的影响。不同林分类型 0~100 cm 层土壤有机碳密度随土层深度增加变化幅度不同,柠条林为 0.45~1.25 kg/m²,沙棘林为 0.87~2.70 kg/m²,沙柳林为 0.53~2.10 kg/m²,乌柳林为 0.43~3.20 kg/m²,对照样地草地有机碳密度变化幅度为 0.42~1.39 kg/m²。不同林分中,0~100 cm 土壤有机碳密度由大到小排序为沙棘>沙柳>乌柳>草地>柠条,其中沙棘林下有机碳密度最大,为 9.42 kg/m²,柠条林下最小,为 3.67 kg/m²,表明林分类型对土壤固碳作用影响显著。共和盆地植被恢复区土壤有机碳密度低于全国平均土壤有机碳密度 (10.53 kg/m²)^[19]。

表 2 不同样地土壤有机碳密度
Table 2 Soil organic carbon densities of different plots

土层 (cm)	土壤有机碳密度(kg/m ²)				
	柠条	沙棘	草地	沙柳	乌柳
0~10	0.72 ± 0.02 Ae	1.57 ± 0.02 Ab	0.81 ± 0.02 Ad	1.73 ± 0.03 Aa	1.22 ± 0.06 Ac
10~20	0.69 ± 0.01 Bc	1.16 ± 0.03 Bb	0.48 ± 0.00 Cd	1.85 ± 0.01 Aa	0.44 ± 0.01 Dd
20~30	0.26 ± 0.00 Fe	0.89 ± 0.01 Ca	0.39 ± 0.04 Dd	0.78 ± 0.01 Bb	0.59 ± 0.01 Cc
30~40	0.28 ± 0.02 EFc	0.50 ± 0.00 Fb	0.30 ± 0.01 Ec	0.57 ± 0.00 Bb	0.84 ± 0.04 Ba
40~50	0.28 ± 0.01 EFb	0.71 ± 0.02 Da	0.28 ± 0.01 EFb	0.25 ± 0.03 Eb	0.78 ± 0.00 Ba
50~60	0.31 ± 0.00 Cc	1.12 ± 0.02 Ba	0.26 ± 0.00 Fd	0.18 ± 0.01 Fe	0.44 ± 0.00 Db
60~70	0.27 ± 0.00 Fd	1.11 ± 0.01 Ba	0.25 ± 0.01 Fd	0.31 ± 0.01 Ec	0.45 ± 0.00 Db
70~80	0.29 ± 0.01 DEcd	0.85 ± 0.01 Ca	0.24 ± 0.00 Fd	0.45 ± 0.00 Cb	0.30 ± 0.02 Ec
80~90	0.26 ± 0.00 Fd	0.89 ± 0.01 Ca	0.78 ± 0.01 Bb	0.30 ± 0.01 Ec	0.34 ± 0.01 Ec
90~100	0.30 ± 0.00 CDc	0.63 ± 0.00 Eb	0.77 ± 0.03 Ba	0.32 ± 0.02 Dc	0.66 ± 0.00 Cb

注:表中数据为平均值±标准差,采用 Duncan 方法进行多重比较,大写字母不同表示同一植被类型不同土壤深度差异显著($P<0.05$),小写字母不同表示同一深度不同植被类型差异显著($P<0.05$)。

3 结论与讨论

1) 不同林分类型,由于植被差异、枯落物分解、根系分布等的差异,对土壤粒径组成有一定影响。根据土壤质地分为不同类型的土壤,同一林地随着土壤深度的变化土壤类型也有变化,不同群落的土壤质地有差别。

2) 不同林分类型土壤有机碳含量在剖面中具有明显的层次性,有机碳含量在同一林地的不同深度差异显著,表层(0~10 cm)含量最高,且随着土壤深度的增加有降低的趋势,说明林地土壤有机碳含量具有“表聚现象”。不同林地土壤有机碳含量存在明显差别,沙棘林下含量最高,柠条林下最小。

3) 不同林分下,土壤有机碳密度差别较大,土壤有机碳密度的变化趋势和土壤有机碳含量的变化

趋势一致,而且在同一林分土壤中,单位深度土壤各土层平均有机碳密度均以表土层最大,并且随土壤深度的增加而降低。在垂直剖面上,不同林分土壤有机碳及其密度,随着土壤深度的增加呈现减小的趋势,各层具有显著差异。这与许多研究结果相同^[20-24]。

4) 与对照样地相比,位于丘间地的林地土壤有机碳和有机碳密度均有不同程度的提高($P<0.05$),说明造林措施对土壤有一定的改良作用,固碳作用明显。0~100 cm 土壤有机碳密度较全国土壤平均碳密度偏低,说明高寒沙区土壤贫瘠,有待改良。

有关研究表明土壤有机碳储量随着植被恢复时间的增加而增加^[18],本研究选取相近林龄的不同林地进行研究,只能提供植被恢复一定年限的数据,对植被恢复不同阶段土壤有机碳储量的研究还有待补充。根据有机碳密度的计算方法,土壤体积质量与有

机碳含量是土壤有机碳密度的决定因素,而土壤体积质量与土壤质地有关,土壤有机碳含量与地上植物类型有关,因而土壤有机碳密度是土壤质地与地上植物综合影响的结果,土壤有机碳密度研究对于植被修复区土壤改良也有重要意义。

参考文献：

- [1] 王绍强,周成虎. 中国陆地土壤有机碳库的估算[J]. 地理研究, 1999, 18(4): 349-356
- [2] Houghton R A. Changes in the storage of terrestrial Carbon since 1950[C] // Lal R., Kimble J, Levine E. Soils and global change. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 1995: 45-46
- [3] 解宪丽,孙波,周慧珍,等. 中国土壤有机碳密度和储量的估算与空间分布分析[J]. 土壤学报, 2004, 41(1): 35-43
- [4] 王根绪,程国栋,沈永平. 青藏高原草地土壤有机碳库及其全球意义[J]. 冰川冻土, 2002, 24(6): 693-700
- [5] 田玉强,欧阳华,徐兴良,等. 青藏高原土壤有机碳储量与密度分布[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 933-942
- [6] 曾永年,冯兆东,曹广超,等. 黄河源区高寒草地土壤有机碳储量及其分布特征[J]. 地理学报, 2004, 59(4): 497-504
- [7] 王大鹏,王文斌,郑亮,等. 中国主要人工林土壤有机碳的比较[J]. 生态环境学报, 2014, 23(4): 698-704
- [8] Lal R. Potential of desertification control to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect[J]. Climate Change, 2001, 51(1): 35-72
- [9] 刘君梅,王学全,刘丽颖,等. 高寒沙区植被恢复过程中表层土壤因子的变化规律[J]. 东北林业大学学报, 2011, 39(8): 47-49
- [10] 杜建民,王峰. 毛乌素沙地典型人工固沙林对土壤有机碳的影响[J]. 宁夏农林科技, 2012, 53(10): 102-104
- [11] 卢琦. 中国沙情[M]. 北京: 开明出版社, 2000: 32-43
- [12] 刘海涛,贾志清,朱亚娟,等. 高寒沙地不同林龄乌柳的水分生理特性及叶性状[J]. 应用生态学报, 2012, 23(9): 2370-2376
- [13] 李清河,江泽平,张景波,等. 灌木的生态特性与生态效能的研究与进展[J]. 干旱区资源与环境, 2006, 20(2): 159-164
- [14] 齐雁冰,常庆瑞. 高寒地区人工植被恢复对风沙土区土壤效应影响[J]. 水土保持学报, 2005, 19(6): 40-43
- [15] 于洋,贾志清,朱亚娟,等. 高寒沙地乌柳防护林碳库随林龄的变化[J]. 生态学报, 2015, 35(6): 1752-1760
- [16] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000: 106-107
- [17] 梁启鹏,余新晓,庞卓,等. 不同林分土壤有机碳密度研究[J]. 生态环境学报, 2010, 19(4): 889-893
- [18] 杨晓梅,程积民,孟蕾,等. 不同林地土壤有机碳储量及垂直分布特征[J]. 中国农学通报, 2010, 26(9): 132-135
- [19] 王绍强,周成虎,李克让,等. 中国土壤有机碳库及空间分布特征分析[J]. 地理学报, 2000, 55(5): 533-544
- [20] 汪超,李福春,阚尚. 黑垆土有机碳在团聚体中的分配及其保护机制[J]. 土壤, 2015, 47(1): 49-54
- [21] Lal R. Forest soils and carbon sequestration[J]. Forest Ecology and Management, 2005, 220: 242-258
- [22] 萨茹拉,李金祥,侯向阳. 草地生态系统土壤有机碳储量及其分布特征[J]. 中国农业科学, 2013, 46(17): 3604-3614
- [23] 徐蕾,傅民杰,孙宇贺. 东北红松阔叶林土壤有机碳空间分布异质性研究[J]. 土壤通报, 2014, 45(1): 100-104
- [24] 曹生奎,陈克龙,曹广超,等. 青海湖流域矮嵩草草甸土壤有机碳密度分布特征[J]. 生态学报, 2014, 34(2): 482-490

A Study on the Soil Carbon Density of Different Artificial Shrub Community in Gonghe Basin in Qinghai Province

YIN Shule, WANG Xuequan*, LI Shaohua

(Institute of Desertification Studies, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: There were four kinds of typical shrub plantations in vegetation recovery areas of alpine desert in Gonghe Basin: *Caragana korshinskii*, *Hippophae rhamnoides*, *Salix psammophila* and *Salix cheilophila*. Results indicated that soil organic carbon density in the profile of 0 – 100 cm was 9.42, 6.73, 6.06, 4.56 and 3.67 kg/m² for the shrub community of *Hippophae rhamnoides*, *Salix psammophila*, *Salix cheilophila*, Grassland, and *Caragana Korshinskii*, respectively. The soil under *Hippophae rhamnoides* had the largest content of organic carbon, followed by *Salix psammophila*, *Salix cheilophila*, and Grassland, and the soil under *Caragana Korshinskii* had the lowest content of organic carbon. Both soil texture and stratified conditions changed with soil depth in the range of 0 – 100 cm under different types of community. Soil organic carbon density decreased with the increasing soil depth, and the soil in top layer of 0 – 10 cm had the greatest content of organic carbon. The soil organic carbon content at the bottom slope of forest than that of grassland.

Key words: Gonghe Basin; Artificial shrub; Soil organic carbon; Soil texture