

黄河三角洲长期人工林地对土壤有机碳库的影响

杜振宇¹, 董海凤², 井大炜³, 马丙尧¹, 刘方春¹

(1. 山东省林业科学研究院, 山东 济南 250014;

2. 中农立华生物科技股份有限公司, 北京 100052; 3. 德州学院, 山东 德州 253023)

摘要: [目的] 探讨黄河三角洲长期人工林对盐碱土壤有机碳库的作用效果, 为充分发挥其生态功能与经济效益提供科学依据与技术参考。[方法] 以刺槐、白蜡、白榆和臭椿纯林以及刺槐—白蜡、刺槐—白榆和刺槐—臭椿混交林等近 30 a 的 7 个长期人工林为研究对象, 并分别设置标准池, 采用多点混合采样法, 研究土壤活性有机碳、碳库管理指数的变化规律。[结果] 3 个混交林地土壤的微生物量碳含量较高, 并显著高于其他林地, 其中刺槐—白蜡混交林较未造林荒地、刺槐、白蜡、白榆和臭椿纯林分别提高 26.16%, 17.62%, 88.41%, 47.99% 和 21.64%。与未造林荒地相比, 长期人工林地的水溶性有机碳含量均明显升高, 而在各个不同造林措施中, 刺槐—白蜡混交林的水溶性有机碳含量显著高于其他措施。各人工林地较荒地均显著提高了土壤总有机碳含量, 其中 3 种混交林模式的土壤总有机碳含量明显高于对应纯林; 同时, 林地土壤不同活性有机碳含量的总体变化规律为: 惰活性有机碳 > 中活性有机碳 > 高活性有机碳, 其中刺槐—白蜡混交林更利于惰活性有机碳的积累。此外, 各人工林地土壤碳库指数较未造林荒地明显上升, 其中刺槐—白蜡混交林的碳库管理指数达最高值, 与刺槐—白榆、刺槐—臭椿混交林无显著性差异, 但分别较刺槐、白蜡、白榆和臭椿纯林明显高出 46.51, 34.88, 27.55, 33.38。[结论] 混交林模式较纯林对林地土壤有机碳库的改善效果更显著, 对土壤具有较好的培肥作用, 并处于良性管理状态, 有利于林木的生长发育。

关键词: 黄河三角洲; 人工林; 活性有机碳; 碳库管理指数

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)05-0056-06

中图分类号: S727

文献参数: 杜振宇, 董海凤, 井大炜, 等. 黄河三角洲长期人工林地对土壤有机碳库的影响[J]. 水土保持通报, 2016, 36(5): 056-061. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2016.05.017

Effects of Long-term Plantations on Soil Organic Carbon Pool in Yellow River Delta

DU Zhenyu¹, DONG Haifeng², JING Dawei³, MA Bingyao¹, LIU Fangchun¹

(1. Shandong Forestry Academy, Ji'nan, Shandong 250014, China;

2. Sina-Agri Leading Biosciences Co., Ltd, Beijing 100052, China; 3. Dezhou University, Dezhou, Shandong 253023, China)

Abstract: [Objective] The objective of this study is to explore the effects of long-term plantations on organic carbon pool in the saline-alkali soil of the Yellow River delta, in order to provide the scientific basis and technical reference for giving full play to its ecological functions and economic benefits. [Methods] Four pure plantations of *Robinia pseudoacacia*, *Fraxinus chinensis*, *Ulmus pumila* and *Ailanthus altissima*, and three mixed plantations were selected as the research objects. The change characteristics of active organic carbon and carbon pool management index in different plantations soil were studied. Standard pool was set and multipoint mixed sampling method was used. [Results] The microbial biomass carbon contents in three mixed plantations were significantly higher than that in the other forest land. The microbial biomass carbon content in *R. pseudoacacia* and *F. chinensis* mixed plantation was 26.16%, 17.62%, 88.41%, 47.99% and 21.64% higher than that in increases in wasteland, and three pure plantations of *R. pseudoacacia*, *F. chinensis*, *U. pumila* and *A. altissima*, respectively. In comparison with wasteland, the dissolved organic carbon(DOC)

收稿日期: 2015-11-15

修回日期: 2015-11-29

资助项目: 公益性行业科研专项经费项目“滨海湿地生态系统服务功能与评估技术研究”(201404305); 山东省科技发展计划项目(2010GNC10942)

第一作者: 杜振宇(1973—), 男(汉族), 山东省枣庄市人, 博士, 研究员, 主要从事森林土壤、林木营养和森林生态等方面的研究。E-mail: zydu@qq.com.

contents in different plantations increased greatly, while the DOC content was apparently higher in mixed plantation of *R. pseudoacacia*. and *F. chinensis* than that in other plantations. Compared with wasteland, the total organic carbon (TOC) contents in different plantations increased significantly, which were observably higher in mixed plantations than that in corresponding pure plantations. In addition, the variation trends of different active organic carbon contents in forest land soils were as follows: low-active organic carbon > mid-active organic carbon > high-active organic carbon. The mixed plantation of *R. pseudoacacia*. and *F. chinensis*. was beneficial to the accumulation of low-active organic carbon. Additionally, the soil carbon pool indexes of plantations increased significantly in comparison to the wasteland. The carbon pool management index in mixed plantation of *R. pseudoacacia*. and *F. chinensis*. was the highest, which was 46.51, 34.88, 27.55 and 33.38 higher than that in four pure plantations of *R. pseudoacacia*, *F. chinensis*, *U. pumila* and *A. altissima*, respectively. There were no significant differences among the mixed plantations of *R. pseudoacacia*. and *U. pumila*, and *R. pseudoacacia*. and *A. altissima*. [Conclusion] In comparison to pure plantations, the mixed plantations had better effects on soil organic carbon pool improvement, and were beneficial to soil fertility enhancement and promoted the growth of forest tree.

Keywords: the Yellow River delta; plantations; active organic carbon; carbon pool management index

黄河三角洲是中国新生陆地生态系统,地处华北平原散生落叶阔叶林及农田防护林区^[1]。该地区的生态系统类型十分独特,区域内荒漠化和土壤盐渍化严重,分布有大片未利用的盐碱化土地,生态环境极度脆弱,抗干扰能力差^[2]。在该区域开展盐碱地脆弱生态区的植被恢复和重建是目前该区经济发展与生态环境建设亟待解决的问题。为此,该地区自20世纪80年代初开始大规模营造人工林,主要造林树种为刺槐(*Robinia pseudoacacia*),其次为绒毛白蜡(*Fraxinus velutina*)、白榆(*Ulmus pumila*)、臭椿(*Ailanthus altissima*)等^[3]。至今刺槐保存面积达5 000 hm²,是中国现存面积最大的刺槐人工林^[4]。这些以刺槐为代表的人工林对于涵养水源、保持水土、防风固沙发挥了重要作用^[1]。近年来的研究表明,混交林可以充分利用地力、培肥林地土壤,有效改善林地生态环境。

森林土壤有机碳是陆地生态系统最大的有机碳库,约占全球土壤有机碳库的73%,在全球碳循环中扮演着源、汇、库的作用,其积累和分解直接影响到全球的碳平衡^[5-6]。但土壤有机碳的数量只是一个矿化分解和合成的平衡结果,不能很好地反映转化速率与土壤有机碳质量的变化^[7];而土壤活性有机碳是对植物和微生物有较高活性的那部分有机碳,其在改善土壤质量、保持土壤肥力、维持土壤碳库平衡方面有重要意义,同时与土壤速效养分、土壤物理性状和耕作措施等具有更密切的联系,因而成为评价土壤质量及土壤管理的一个重要指标^[8-9]。根据测定方法和所指有机碳的组分不同,可以将土壤活性有机碳分为微生物量碳、可溶性有机碳和易氧化态有机碳等,它们能在不同程度上反映土壤有机碳的有效性和土壤质量,

并与土壤速效养分及物理性质关系紧密^[9]。1995年Blair等^[10]采用KMnO₄氧化法测定了活性有机碳并提出土壤碳库管理指数(CPMI),CPMI是土壤管理措施引起土壤有机碳变化的指标,能够系统、敏感地监测土壤碳的变化,反映农作措施使土壤质量下降或更新的程度^[11]。研究黄河三角洲人工刺槐林地土壤活性有机碳与碳库管理指数的变化过程对于认识该地区生态恢复过程中土壤质量的演变及其效果评价具有重要指导意义,而且由于植被类型、气候特点与土壤性质的差异,不同林型的土壤碳库存在较大的差异^[12]。因此,在同一地区,针对不同林型开展土壤有机碳库的研究是十分必要的,而目前在这方面的研究鲜有报道。为此,该研究拟以位于黄河三角洲济南军区孤岛林场的7个长期人工林为研究对象,并分别设置标准池,采用多点混合采样法,探讨土壤活性有机碳、碳库管理指数的变化规律,以期科学营造和管理刺槐人工林,维持其林地生产力水平,充分发挥其生态功能与经济效益提供科学依据与技术参考。

1 研究区概况

试验地位于山东省东营市河口区(38°15'N,118°5'E),该地属于暖温带大陆季风性气候。全年平均气温12.3℃,极端最高气温达41.9℃,极端最低气温-23.3℃,>0℃以上的积温4 783.5℃,>10℃以上的积温4 183℃。年太阳辐射总量5 146~5 411 J/m²,年日照时间2 571~2 865 h,平均2 682 h是中国日照较丰沛的地区之一,平均无霜期210 d,年降水量542.3~842 mm,其中约63.9%的降水集中于夏季,年蒸发量1 962.1 mm是降水量的3.6倍,春季是强烈的蒸发期,蒸发量占全年的51.7%。试验区土壤类型为盐化潮土。

2 材料与方 法

2.1 研究方法

选取该地区有代表性的 7 个长期人工林为研究对象,其中纯林 4 个,分别为刺槐林(R)、白蜡林(F)、白榆林(U)和臭椿林(A),另外 3 个为刺槐与其他 3 树种构建的混交林。刺槐白蜡混交林(RF)为 3:1 行状混交模式,刺槐白榆混交林(RU)为 1:1 株间混交模式,刺槐臭椿混交林(RA)为 1:1 行间混交模式。人工林于 1985 年春季采用一年生苗营造,株行距为 2.5×3 m,各林分的林地相邻,林龄和立地条件基本相同,另外,选取十二分场内的未造林荒地作为研究

对照(CK),不同林地与荒地对照的立地土壤条件在未造林前基本一致。

在供试 7 个人工林地和荒地对照中分别设置 0.06 hm² 的标准地,采用多点混合采样法,采集 0—20 cm 表层土壤,并重复 3 次,分别装入无菌袋中。采集的土样迅速带回实验室,剔除可见的动、植物残体和石块,用四分法取出适量土壤样品分成 2 部分,一部分新鲜土样过 2 mm 筛后,保存在 4 °C 冰箱内,以供土壤微生物量碳和水溶性有机碳的测定;另一部分土样在室温条件下风干,研磨过 0.25 mm 筛,用于土壤有机碳和易氧化态有机碳的测定。各样地基本理化性质如表 1 所示。

表 1 样地基本理化性质

样地	pH 值	有机质/ (g · kg ⁻¹)	全氮/ (g · kg ⁻¹)	碱解氮/ (mg · kg ⁻¹)	有效磷/ (mg · kg ⁻¹)	速效钾/ (mg · kg ⁻¹)
CK	8.62 ^a	9.46 ^e	0.738 ^d	13.22 ^e	3.08 ^{de}	74.07 ^f
R	8.55 ^{ab}	11.82 ^c	0.752 ^c	23.81 ^{bc}	3.37 ^c	128.96 ^c
F	8.57 ^a	10.76 ^d	0.749 ^c	18.95 ^d	3.29 ^c	107.25 ^d
U	8.51 ^b	11.35 ^c	0.755 ^c	20.68 ^c	2.98 ^e	98.62 ^e
A	8.49 ^b	10.93 ^d	0.746 ^c	17.76 ^d	3.16 ^d	92.55 ^e
RF	8.33 ^c	13.49 ^a	0.778 ^a	33.24 ^a	4.26 ^a	154.36 ^a
RU	8.39 ^c	13.54 ^a	0.785 ^a	30.21 ^a	3.62 ^b	135.97 ^{bc}
RA	8.41 ^c	12.36 ^b	0.766 ^b	25.58 ^b	3.51 ^b	140.24 ^b

注:同列不同小写字母表示处理间差异显著($p < 0.05$);R 为刺槐林,F 为白蜡林,U 为白榆林,A 为臭椿林,RF 为刺槐白蜡混交林,RU 为刺槐白榆混交林,RA 为刺槐臭椿混交林。下同。

2.2 测定项目与方法

土壤微生物量碳(MBC)的测定采用氯仿熏蒸—K₂SO₄提取法;土壤可溶性有机碳(DOC)的测定采用水提取、过滤方法;土壤总有机碳的测定采用重铬酸钾容量法^[13]。

土壤易氧化态有机碳(ROC):取约含 15~30 mg 碳的土样,加入 333,167,33 mmol/L 的 KMnO₄ 溶液 25 ml 振荡 1 h,然后以 4 000 r/min 离心 5 min,取上清液用去离子水按 1:250 稀释,将稀释液在 565 nm 波长处进行比色,根据 KMnO₄ 的消耗量,可求出土壤易氧化态有机碳含量。由此测出的 3 组活性有机碳分别称为惰活性有机碳、中活性有机碳和高活性有机碳,非活性有机碳=总有机碳—活性有机碳^[9]。

碳库管理指数的计算方法如下:

碳库活度(A)=活性碳含量/非活性碳含量

碳库活度指数(I_A)=样品碳库活度/参考土壤碳库活度

碳库指数(I_{CP})=样品全碳含量/参考土壤全碳含量

碳库管理指数(I_{CPM})=碳库指数×碳库活度指数×

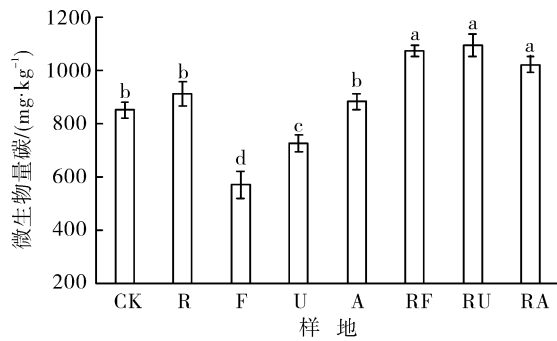
$$100 = I_{CP} \times I_A \times 100$$

3 结果与分析

3.1 土壤微生物量碳

微生物量碳(MBC)是土壤有机质中最活跃与最易变化的部分,是反映土壤有机碳变化与土壤质量很敏感的指标^[14]。研究 MBC 含量对于分析和研究土壤养分转化过程和土壤中微生物的动态具有重要指导意义。

从图 1 可见,刺槐白蜡混交林(RF),刺槐白榆混交林(RU)和刺槐臭椿混交林(RA)处理的 MBC 含量最高,并明显高于其他处理,而这 3 个处理间无显著性差异,其中 RF 处理分别较未造林荒地(CK),刺槐林(R),白蜡林(F),白榆林(U)和臭椿林(A)处理提高 26.16%,17.62%,88.41%,47.99% 和 21.64%;其次是未造林荒地(CK),刺槐林(R)和臭椿林(A)处理,亦显著高于白榆林(U)和白蜡林(F)处理,而未造林荒地(CK),刺槐林(R)和臭椿林(A)处理之间差异未达显著水平。由此可见,刺槐与白蜡、白榆、臭椿的混交林模式相比纯林能显著提高林地土壤的微生物量碳含量。



注:不同小写字母表示处理间差异显著($p < 0.05$)。下同。

图 1 不同林地对土壤微生物量碳含量的影响

3.2 土壤水溶性有机碳

水溶性有机碳指能通过 $0.45 \mu\text{m}$ 滤膜的水溶性有机物质,其最主要的来源是植物残体和腐殖物质^[15]。由图 2 可以看出,与未造林荒地相比,长期人工林地水溶性有机碳含量均明显升高,刺槐林(R),白蜡林(F),白榆林(U),臭椿林(A),刺槐白蜡混交林(RF),刺槐白榆混交林(RU)和刺槐臭椿混交林(RA)处理的水溶性有机碳含量分别是未造林荒地(CK)的 1.32, 1.79, 2.82, 2.68, 4.59, 3.97, 3.79 倍。同时各个不同造林措施中,RF 处理的水溶性有机碳含量分别较槐林(R),白蜡林(F),白榆林(U),臭椿林(A),刺槐白榆混交林(RU)和刺槐臭椿混交林(RA)处理显著提高 246.67%, 155.74%, 62.50%, 71.43%, 15.56% 和 20.93%; 依次是刺槐白榆混交林(RU)和刺槐臭椿混交林(RA)处理,也明显高于槐林(R),白蜡林(F),白榆林(U),臭椿林(A)处理。数据表明,各个植树造林模式较未造林荒地可明显增加林地土壤水溶性有机碳含量,而混交林模式的作用效果优于对应纯林,尤其以刺槐—白蜡混交林最为显著,这表明刺槐—白蜡混合种植方式更有利于林地土壤水溶性碳的积累,能给土壤提供充足的养料,从而有助于促进林木的生长。

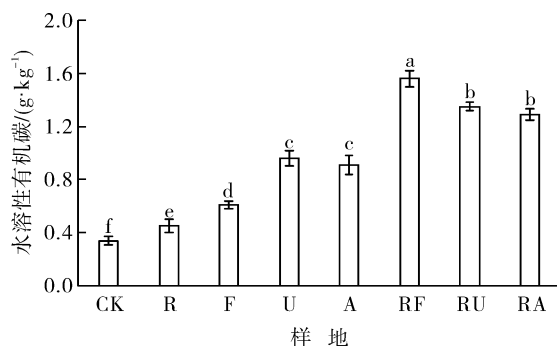


图 2 不同林地对土壤水溶性有机碳含量的影响

3.3 土壤易氧化有机碳

由表 2 可以看出,同一地块,同一母质发育而来的土壤,通过近 30 a 的长期人工林植被覆盖后,总有机碳和不同活性有机碳的含量均发生明显的变化。各个人工林植被措施较对照均显著提高了土壤总有机碳含量,其中 3 种混交林的土壤总有机碳含量明显高于对应纯林,而这 3 种混交林模式间差异未达显著水平。高活性有机碳含量的大小次序为:臭椿林(A) \approx 白榆林(U) \approx 刺槐白榆混交林(RU) $>$ 白蜡林(F) \approx 刺槐白蜡混交林(RF) \approx 刺槐林(R) \approx 刺槐臭椿混交林(RA) $>$ 未造林荒地(CK),说明不同造林模式相比荒地均能明显提高土壤高活性有机碳含量;中活性有机碳含量的变化规律为:刺槐臭椿混交林(RA)与刺槐白榆混交林(RU)处理最高,并显著高于其他处理,而其他处理间均无显著性差异。从表 2 还可知,刺槐白蜡混交林(RF)处理的惰活性有机碳含量最高,分别比未造林荒地(CK),刺槐林(R),白蜡林(F),白榆林(U),臭椿林(A),刺槐白榆混交林(RU)和刺槐臭椿混交林(RA)处理明显高出 62.96%, 58.56%, 44.26%, 62.96%, 70.87%, 38.58% 和 44.26%,而未造林荒地(CK),刺槐林(R),白蜡林(F),白榆林(U),臭椿林(A),刺槐白榆混交林(RU)和刺槐臭椿混交林(RA)处理之间均差异不显著。以上分析认为,滨海盐碱地营造人工林,其林地土壤不同活性有机碳含量的总体变化规律为:惰活性有机碳 $>$ 中活性有机碳 $>$ 高活性有机碳,其中刺槐—白蜡混交林模式更有利于惰性有机碳的积累。

3.4 碳库管理指数

黄河三角洲营造长期人工林后土壤碳库活度和碳库管理指数的变化规律如表 3 所示。相比未造林荒地,人工林地土壤总活性有机碳和非活性有机碳含量均显著升高,其中 3 种混交林地土壤的总活性有机碳含量明显高于纯林,而这 3 种混交林的非活性有机碳含量与刺槐纯林无显著性差异,但显著高于白蜡、白榆和臭椿纯林。各人工林地土壤碳库指数较未造林地明显上升,且混交林高于其对应纯林。从表 3 还可见,刺槐白蜡混交林(RF)处理的 CPMI 达最高值,与刺槐白榆混交林(RU)、刺槐臭椿混交林(RA)处理差异不显著,但分别较未造林荒地(CK),刺槐林(R),白蜡林(F),白榆林(U),臭椿林(A)处理显著高出 44.44, 46.51, 34.88, 27.55, 33.38; 其次为白蜡林(F),白榆林(U),臭椿林(A)处理,也明显高于未造林荒地(CK)和刺槐林(R)处理,而刺槐林(R)处理与未造林荒地(CK)无显著性差异,且 $\text{CPMI} < 100$ 。由此可见,在黄河三角洲滨海盐碱区种植长期人工林能

提高土壤质量,使土壤碳库处于良性状态,这有利于土壤的可持续利用,其中 3 种混交林模式对土壤碳库

的改善效果更为明显,而刺槐纯林 $CPMI < 100$,可能与近年来刺槐林地退化,生长状况失衡有关。

表 2 不同林地对土壤活性有机碳的影响

样地	总有机碳	g/kg			高活性有机碳	中活性有机碳	惰活性有机碳
		333 mmol/L KMnO ₄ 氧化量	167 mmol/L KMnO ₄ 氧化量	33 mmol/L KMnO ₄ 氧化量			
CK	5.44 ^c	2.09 ^c	1.01 ^c	0.41 ^c	0.41 ^c	0.60 ^b	1.08 ^b
R	6.87 ^b	2.24 ^b	1.19 ^b	0.50 ^b	0.50 ^b	0.63 ^b	1.11 ^b
F	6.69 ^b	2.39 ^b	1.17 ^b	0.52 ^b	0.52 ^b	0.65 ^b	1.22 ^b
U	6.76 ^b	2.50 ^b	1.42 ^b	0.73 ^a	0.73 ^a	0.69 ^b	1.08 ^b
A	6.76 ^b	2.42 ^b	1.39 ^b	0.77 ^a	0.77 ^a	0.62 ^b	1.03 ^b
RF	7.60 ^a	2.98 ^a	1.22 ^b	0.51 ^b	0.51 ^b	0.71 ^b	1.76 ^a
RU	7.74 ^a	2.88 ^a	1.61 ^a	0.68 ^a	0.68 ^a	0.93 ^a	1.27 ^b
RA	7.05 ^a	2.68 ^a	1.46 ^b	0.49 ^b	0.49 ^b	0.97 ^a	1.22 ^b

表 3 不同林地土壤活性有机碳及碳库管理指数演变

样地	活性有机碳 LOC/	非活性有机碳 NLOC/	碳库活度	碳库活度指数	碳库指数	碳库管理指数
	(g · kg ⁻¹)	(g · kg ⁻¹)	A	I _A	I _{CP}	I _{CPM}
CK	2.09 ^c	3.35 ^c	0.62 ^a	1.00 ^a	1.00 ^c	100.00 ^c
R	2.24 ^b	4.63 ^a	0.48 ^c	0.78 ^c	1.26 ^b	97.93 ^c
F	2.39 ^b	4.30 ^b	0.56 ^b	0.89 ^b	1.23 ^b	109.56 ^b
U	2.50 ^b	4.26 ^b	0.59 ^b	0.94 ^a	1.24 ^b	116.89 ^b
A	2.42 ^b	4.34 ^b	0.56 ^b	0.89 ^b	1.24 ^b	111.06 ^b
RF	2.98 ^a	4.62 ^a	0.65 ^a	1.03 ^a	1.40 ^a	144.44 ^a
RU	2.88 ^a	4.86 ^a	0.59 ^{ab}	0.95 ^a	1.42 ^a	135.14 ^a
RA	2.68 ^{ab}	4.37 ^{ab}	0.61 ^a	0.98 ^a	1.30 ^{ab}	127.39 ^{ab}

4 讨论与结论

造林作为一种人为的土地利用方式与陆地管理活动,能增加陆地碳储量^[16]。80 年代在黄河三角洲营造的长期人工林,为该地土壤提供了充足的碳库来源。土壤活性碳作为土壤圈中十分活跃,周转速度较快的重要成分,对土壤的扰动和管理措施十分敏感,能够准确、实际的反映土壤肥力和理化性质的变化^[17]。而土壤作为一种独立的功能自然体,对水、肥、气、热及根系生长空间具有调节作用,同时又受各种环境因素的影响,土地利用方式的变化,可使土壤性状发生明显改变,其中最重要的表现之一就是有机碳库的变化^[18]。土壤微生物量碳是反映土壤养分循环及转化过程的重要参数,能直观体现土壤微生物的生长状态和土壤肥力状况^[14]。本研究得出,在不同的植树造林模式中,3 种混交林模式较荒地和纯林显著提高了土壤微生物量碳含量;进一步分析发现,未造林荒地的土壤微生物量碳含量明显高于白蜡和白榆纯林,这一方面可能由于未造林荒地的植被以草本植物为主,枯落物的分解较快,能给土壤提供一定的碳素为微生物吸收利用;另一方面可能在于草地植被与林地树种根系分泌物的不同,使残留在土壤中易分

解有机物质的比例不同,从而导致未造林地与人工林地微生物量碳数量上的差异^[19-20]。

土壤可溶性有机碳是土壤微生物的主要能源,可溶性有机物中约 10%~40% 的组分能够直接被微生物分解利用^[21]。本试验表明,与荒地相比,各造林措施均能明显提高林地土壤可溶性有机碳含量,而混交林模式的水溶性有机碳含量显著高于其对应纯林,其中刺槐—白蜡混交林的含量达最大值。同时可知,林地土壤可溶性有机碳含量的变化规律与微生物量含量不完全一致,这与苏朋等^[22]在黄泥田上的研究结论相似。本试验还得出,同荒地和纯林相比,混交林明显提高了林地土壤总有机碳和活性有机碳含量,其中对活性有机碳的提高幅度显著大于总有机碳,表明活性有机碳在指示土壤质量与土壤肥力变化时比总有机碳更敏感。此外,苏静等^[23]研究表明植被恢复主要增加的是非活性有机碳含量,而 Blair 等^[10]研究则认为土壤碳库的变化主要发生在活性碳库部分。本研究得出,与未造林荒地相比,不同人工造林措施下的土壤活性和非活性有机碳含量均呈现出递增的变化趋势,其中混交林较纯林的增加趋势更为显著。

碳库管理指数(CPMI)结合了人为影响下土壤碳库指标与土壤中碳库活度,且能反映外界条件对土

壤有机碳数量的影响与土壤活性有机碳数量的变化,因此能较为全面和动态地反应外界条件对碳库中各组分在量和质上的变化,进而反映土壤质量的下降或更新程度^[11]。有研究表明^[8],CPMI 升高说明土壤肥力上升,反之则表明土壤肥力下降。本研究中,各人工造林模式较荒地均显著提高了 CPMI。究其原因可能是由于每年大量的枯枝落叶与营养元素等物质重新返回到生态系统中,并随着植被恢复演替的进行,枯枝落叶积累与分解逐渐增多促使土壤活性有机碳含量和 CPMI 增加,其中混交林模式的增加幅度显著大于纯林,这说明混交林相比纯林具有较强的养分富集和培肥能力,能使林地土壤处于良性管理状态;而刺槐、白蜡、白榆和臭椿纯林相比之下对土壤质量的改善效果有限,表明纯林种植方式不够科学。主要由于刺槐是固氮能力较强的林木,与白蜡、白榆、臭椿混交种植后能够较好地调节土壤碳氮比,并能明显改善土壤物理性状^[3,24];同时从混交林的土壤基本化学性质可知,其有机质、碱解氮、速效磷和速效钾的含量均显著高于对应纯林,这可能与混交林降低了土壤 pH 值有关,pH 值的降低对土壤中磷和钾具有一定的溶解作用^[25],有助于速效磷和速效钾含量的升高,并提高了土壤中养分离子的浓度,增强了土壤的供肥性。由此可知,混交林下土壤理化性状的改善为微生物的生长创造了一个良好的环境,从而有利于生成活性有机碳,且提高土壤的 CPMI 值。

[参 考 文 献]

- [1] 邢尚军,张建锋. 黄河三角洲土地退化机制与植被恢复技术[M]. 北京:中国林业出版社,2006:28-29.
- [2] 丁晨曦,李永强,董智,等. 不同土地利用方式对黄河三角洲盐碱地土壤理化性质的影响[J]. 中国水土保持科学,2013,11(2):84-89.
- [3] 董海凤,杜振宇,马丙尧,等. 黄河三角洲长期人工刺槐林对土壤化学性质的影响[J]. 水土保持通报,2014,34(3):32-37.
- [4] 曹帮华,吴丽云,宋爱云,等. 滨海盐碱地刺槐(*Robinia pseudoacacia*)混交林土壤水盐动态[J]. 生态学报,2008,28(3):939-945.
- [5] 丁咸庆,马慧静,朱晓龙,等. 大围山不同海拔森林土壤有机碳垂直分布特征[J]. 水土保持学报,2015,29(2):258-262.
- [6] 胡慧蓉,马焕成,罗承德,等. 森林土壤有机碳分组及其测定方法[J]. 土壤通报,2010,41(4):1018-1024.
- [7] 王明友,张红,李士平,等. 蚯蚓粪与化肥配施对西瓜地土壤活性有机碳及酶活性的影响[J]. 水土保持通报,2015,35(4):101-106.
- [8] 薛蕙,刘国彬,潘彦平,等. 黄土丘陵区人工刺槐林土壤活性有机碳与碳库管理指数演变[J]. 中国农业科学,2009,42(4):1458-1464.
- [9] 徐明岗,于荣,孙小凤,等. 长期施肥对我国典型土壤活性有机质及碳库管理指数的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2006,12(4):459-465.
- [10] 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[J]. Australian Journal of Agricultural Research, 1995,6(7):1459-1466.
- [11] 井大炜,王明友,张红,等. 樱桃栽培中施用蚯蚓粪对土壤有机碳氧化稳定性及碳库管理指数的影响[J]. 水土保持通报,2015,35(3):73-77.
- [12] 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.
- [13] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2007:30-183.
- [14] 井大炜,邢尚军. 鸡粪与化肥不同配比对杨树苗根际土壤酶和微生物量碳、氮变化的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2013,19(2):455-461.
- [15] 陈印平,夏江宝,曹建波,等. 黄河三角洲盐碱地不同混交林土壤可溶性有机碳氮的研究[J]. 水土保持通报,2013,33(5):87-91.
- [16] 董海凤,杜振宇,马丙尧,等. 黄河三角洲人工林地土壤的水盐动态变化[J]. 水土保持学报,2013,27(5):48-53.
- [17] 杜满义,范少辉,刘广路,等. 毛竹林混交经营对土壤活性有机碳库和碳库管理指数的影响[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2013,37(5):49-54.
- [18] 李庆梅,侯龙鱼,刘艳,等. 黄河三角洲盐碱地不同利用方式土壤理化性质[J]. 中国生态农业学报,2009,17(6):1132-1136.
- [19] 杜振宇,马丙尧,刘方春,等. 滨海盐碱地人工刺槐白蜡混交林的根际土壤特性研究[J]. 中国土壤与肥料,2013(6):1-5.
- [20] 杜振宇,刘方春,马丙尧,等. 滨海盐碱地人工刺槐绒毛白蜡混交林的根系分布与细根生长[J]. 林业科学,2014,50(3):10-15.
- [21] 井大炜,邢尚军,刘方春,等. 配施味精废浆促进杨树生长提高土壤活性有机碳及碳库管理指数[J]. 农业工程学报,2016,32(S1):124-131.
- [22] 苏朋,傅昱,何艳,等. 控制条件下水肥耦合对黄泥田还田秸秆腐解及土壤碳转化的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2015,21(1):1-11.
- [23] 苏静,赵世伟,马继东,等. 宁南黄土丘陵区不同人工植被对土壤碳库的影响[J]. 水土保持研究,2005,12(3):50-52.
- [24] 孙文义,郭胜利. 天然次生林与人工林对黄土丘陵沟壑区深层土壤有机碳氮的影响[J]. 生态学报,2010,30(10):2611-2620.
- [25] 刘方春,邢尚军,马海林,等. 根际促生细菌(PGPR)对冬枣根际土壤微生物数量及细菌多样性影响[J]. 林业科学,2013,49(8):75-80.