

豫东平原不同年限农林间作系统 土壤有机碳库特征

高喜荣¹, 万 猛², 王齐瑞¹, 杨海青¹, 赵 辉¹, 凌晓明¹, 樊 巍^{3*}

(1. 河南省林业科学研究院, 河南 郑州 450008; 2. 河南省林业调查规划院, 河南 郑州 450008;
3. 河南省生态林业工程技术研究中心, 河南 郑州 450008)

摘要: 为全面了解杨树—农作物间作系统的固碳效能, 研究了沙质平原区 3、9、13、17 a 杨农(杨树与农作物)间作系统土壤有机碳库特征。结果表明, 杨农间作系统土壤有机碳含量随着土层深度增加而逐步下降, 随着间作年限增加而增加; 0~60 cm 土壤有机碳密度随着间作年限的增加而增加, 间作 3、9、13、17 a 分别达到 11.25、11.19、13.71、16.17 t/hm²; 土壤碳密度随着土层深度增加而下降, 但随着间作年限增加, 40~60 cm 土壤碳密度所占比例逐步增加, 到间作 17 a 时, 已达到 28.76%, 说明随着间作年限增加可以增加深层土壤固碳能力; 土壤有机碳固存速率随着间作年限增加而增加, 间作 3~9 a 为 0.145 0 t/(hm²·a), 间作 9~13 a 为 0.397 5 t/(hm²·a), 间作 13~17 a 达到最高, 为 0.615 0 t/(hm²·a), 平均为 0.351 4 t/(hm²·a), 说明豫东平原杨农间作系统要达到一定年限, 才能充分发挥其土壤固碳效能。

关键词: 杨农间作系统; 土壤有机碳; 土壤碳密度; 碳固存速率; 豫东平原

中图分类号: S714 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-3268(2012)12-0072-04

Characteristics of Soil Organic Carbon Stock of Poplar Crop Intercropping System of Different Years in Eastern Henan Plain

GAO Xi-rong¹, WAN Meng², WANG Qi-rui¹, YANG Hai-qing¹,
ZHAO Hui¹, LING Xiao-ming¹, FAN Wei^{3*}

(1. Henan Academy of Forestry, Zhengzhou 450008, China;
2. Henan Academy of Forest Inventory and Design, Zhengzhou 450008, China;
3. Ecological Forestry Engineering Research Center of Henan Province, Zhengzhou 450008, China)

Abstract: Characteristics of soil organic carbon stock of 3 a, 9 a, 13 a, and 17 a poplar crop intercropping system (PCIS) were investigated to comprehensively understand carbon sequestration efficiency of PCIS in eastern Henan plain. The results showed that the soil organic carbon content decreased gradually with the increasing of soil depth, and it increased with the increase of intercropping years. Also the soil organic carbon density increased in 0~60 cm soil layer with the increase of intercropping years, which reached 11.25 t/hm², 11.19 t/ha, 13.71 t/ha and 16.17 t/ha in 3 a, 9 a, 13 a, 17 a, respectively. The carbon density decreased with the increase of soil depth, and the proportion of the carbon density in 40~60 cm soil layer increased with the increase of intercropping years, and it reached 28.76% in 17 a, illustrating the ability of carbon sequestration increased with the increase of intercropping years in deep soil. The soil organic carbon sequestration rate increased with the increase

收稿日期: 2012-09-12

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划项目(2011BAD38B0205); 国家林业局黄淮海平原农田防护林生态系统定位研究观测站资助项目

作者简介: 高喜荣(1961-), 女, 河北石家庄人, 教授级高级工程师, 主要从事林业生态工程研究工作。

* 通讯作者: 樊 巍(1964-), 男, 河南永城人, 研究员, 博士, 主要从事林业生态工程研究工作。E-mail: fanw2004@163.com

of intercropping years, which was 0.145 0 t/(ha · a) in 3—9 a, 0.397 5 t/(ha · a) in 9—13 a, 0.615 0 t/(ha · a) in 13—17 a, and the average was 0.351 4 t/(ha · a), suggesting PCIS could not give full play to its soil carbon sequestration efficiency until it reached a certain number of intercropping years in eastern Henan plain.

Key words: poplar crop intercropping system; soil organic carbon; soil carbon density; carbon sequestration rate; eastern Henan plain

土壤是陆地生态系统中最大的碳库,对全球碳平衡起着重要的作用。近些年来,农业土壤的固碳潜力以及不同土地利用方式的碳汇功能已成为各国研究的热点^[1]。农林复合系统作为一种重要的可持续土地利用方式,其碳汇能力已受到广泛重视^[2]。杨树和农作物间作(以下简称杨农间作)是近年来在豫东砂土平原地区发展较快的一种重要农林复合发展模式,对改善区域生态环境,促进经济社会可持续发展起到了重要作用。虽然对其生态功能、固碳效应已有一些研究^[3],但对其土壤碳的研究还不多见。为此,对豫东砂土平原地区不同间作年限杨农间作系统土壤碳库特征进行了研究,以期全面了解杨农间作系统土壤碳变化过程,评价不同土地利用方式的固碳潜力提供依据。

1 材料和方法

1.1 研究地区概况

试验地设在河南省商丘市民权国有林场,国家林业局黄淮平原农田防护林生态系统定位研究观测站试验基地。地理坐标为北纬 34°31′~34°52′,东经 115°00′15″~115°24′41″,属暖温带大陆性季风气候,年平均气温 14.0℃,年平均降雨量 679 mm。区内土壤为黄河冲积形成的潮土类细砂土,质地以砂土和砂壤为主,地下水位 1.5~4.0 m。

1.2 试验地设置

分别在 3、9、13、17 a 杨农间作林分中选择有代表性的样地。杨树品种均为 46 杨,间作物前期一般为小麦、花生、大豆、红薯,后期多为中药材。其林分特征见表 1。

表 1 杨农间作系统样地情况

间作 年限/a	株行距	平均 胸径/cm	平均 树高/m	平均冠幅
3	3 m×8 m	9.02	7.38	3.11 m×2.85 m
9	3 m×10 m	23.96	21.89	3.58 m×2.76 m
13	8 m×30 m	39.97	26.49	7.33 m×3.74 m
17	8 m×10 m	42.58	27.21	4.32 m×6.30 m

1.3 取样和分析方法

在 3、9、13、17 a 杨农间作系统样地行间,按距离林带不同距离采用 S 形随机选择 5 个取土样点,

一般在距树基 4~5 m 处,分 0~20、20~40、40~60 cm 3 个层次采样。样品采集分为原状土和分析样。环刀采取原状土,带回室内,用于物理分析;分析样每层采取 500 g 左右,加上剖面附近 2 个用土钻随机钻取的同层土样,去除根系、石块后充分混合,将土壤样品进行风干处理,磨碎,过筛,用于化学性质分析。土壤样品有机碳含量采用重铬酸钾、硫酸氧化-外加热法测定^[4];用环刀法测定土壤容重;土壤全氮采用凯氏半微量定氮法测定^[4];土壤全磷采用酸溶-钼锑抗比色法测定;有效磷用 NH₄F-HCl 浸提,钼锑抗比色法测定;全钾采用氢氟酸消煮-火焰光度法^[4]测定;pH 值用电位法测定^[4]。

1.4 土壤有机碳密度估算

土壤有机碳密度采用下式计算^[5]:

$$C_i = d_i \cdot p_i \cdot q_i,$$

式中, C_i 为第 i 层土壤有机碳密度(t/hm²); d_i 为土层厚度(cm); p_i 为土壤容重(g/cm³); q_i 为第 i 层土壤有机碳含量(g/kg)。

1.5 土壤有机碳固存速率计算

不同年限不同土层土壤有机碳固存速率按下式计算^[5]:

$$S_i = \frac{C_{mi} - C_{ni}}{m - n},$$

式中, S_i 为第 i 层土壤有机碳固存速率, C_{mi} 和 C_{ni} 分别为第 m 年、第 n 年第 i 层土壤碳密度。

1.6 统计分析

采用 Excel 2003 和 SPSS 16.0 软件进行数据处理分析。

2 结果与分析

2.1 不同间作年限杨农间作系统样地土壤特性

对不同间作年限杨农间作样地 0~20 cm 土壤分析表明(表 2),3、9、13、17 a 杨农间作系统的土壤 pH 值为 8.89~9.28,全 N 0.10~0.29 g/kg,全 P 0.40~0.50 g/kg,全 K 15.30~19.60 g/kg,速效 N 16.80~27.90 mg/kg,速效 P 1.17~3.65 mg/kg,速效 K 32.40~57.60 mg/kg,有机质 2.72~3.60 g/kg,随着间作年限的增长,土壤有机质和全 N 呈上升趋势,全 P 和速效 N 呈下降趋势。

表 2 杨农间作系统 0~20 cm 土壤特征值

间作 年限/a	全 N/ (g/kg)	全 P/ (g/kg)	全 K/ (g/kg)	速效 N/ (mg/kg)	速效 P/ (mg/kg)	速效 K/ (mg/kg)	有机质/ (g/kg)	pH
3	0.10	0.50	15.30	27.90	1.86	54.90	2.72	8.89
9	0.28	0.47	18.80	23.75	1.94	56.20	3.10	8.98
13	0.20	0.40	18.10	16.80	3.65	32.40	3.30	9.28
17	0.29	0.41	19.60	22.36	1.17	57.60	3.60	8.90

2.2 不同间作年限杨农间作系统土壤有机碳含量

3、9、13、17 a 杨农间作系统土壤各层有机碳含量都比较低(表 3),这与豫东平原土壤为黄河冲积而形成的潮土类细砂土即原生土壤贫瘠有很大关系^[6]。4 个年限的杨农间作系统土壤有机碳含量随着土壤深度的增加而逐渐下降,随着间作年限的增加而逐渐增加。土壤各层有机碳含量为 1.22~1.78 g/kg,平均为 1.46 g/kg。0~20 cm 土层最高,为 1.58~2.09 g/kg,而 40~60 cm 土层最低,为 1.00~1.51 g/kg。4 个年限的间作系统土壤有机碳主要分布于 0~40 cm 的土层中,因为该层是杨树和农作物等植物根系的集中分布区,而且地表凋落物层又对该层土壤有机碳含量有较大影响。4 个年限杨农间作系统不同层次有机碳含量的高低均表现为 0~20 cm 土层 > 20~40 cm 土层 > 40~60 cm 土层。

表 3 杨农间作系统土壤有机碳含量

土层 深度/cm	土壤有机碳/(g/kg)				变异 系数/%
	3 a	9 a	13 a	17 a	
0~20	1.58	1.80	1.91	2.09	0.10
20~40	1.08	1.10	1.39	1.74	0.20
40~60	1.00	1.05	1.32	1.51	0.25
各土层平均	1.22	1.22	1.51	1.78	0.16
变异系数/%	0.21	0.36	0.19	0.13	/

2.3 不同间作年限杨农间作系统土壤有机碳含量与土壤理化性质的相关性分析

3、9、13、17 a 杨农间作系统各层土壤的 pH 值平均为 9.01~9.13,各层土壤 pH 值随着土壤深度的增加而增大。从图 1 可以看出,杨农间作系统土壤有机碳(SOC)含量和土壤 pH 值存在一定的线性负相关,其相关方程为: $SOC = -0.232 pH + 3.535$,其中 $r=0.436$, $P<0.05$ 。

对不同年限的杨农间作系统土壤有机碳含量和土壤全氮进行回归分析,结果表明(图 2),土壤有机碳(SOC)和土壤全 N(N)之间存在显著的线性正相关。其线性回归方程为: $N=0.1399 SOC-0.051$,其中 $r=0.777$, $P<0.01$ 。这和大多数研究结果是一致的^[7-9]。

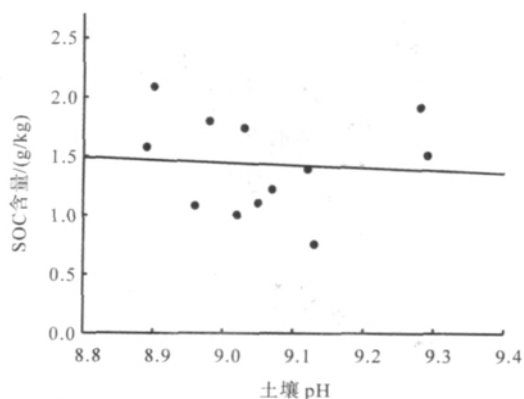


图 1 杨农间作系统土壤有机碳含量与土壤 pH 值的关系

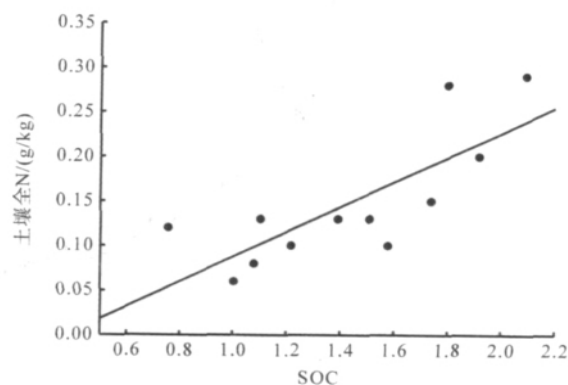


图 2 杨农间作系统土壤有机碳含量与土壤全氮的关系

2.4 不同间作年限杨农间作系统土壤有机碳密度

杨农间作系统土壤有机碳密度随着土层深度增加而降低,而且 4 个年限均呈同一趋势。各土层下降幅度不同,一般 0~40 cm 变幅较大,0~20 cm 土壤有机碳密度占 0~60 cm 土壤的 38.53%~45.13%,40~60 cm 变幅较小(表 4)。而随着间作年限的增加,40~60 cm 土层土壤有机碳密度占 0~60 cm 土体碳密度的比例总体上呈增加趋势,3、9、13、17 a 时分别为 27.38%、26.90%、27.57%、28.76%,这充分说明增加杨农间作年限可以增加深层土壤碳存贮能力。

从不同年限间作系统土壤碳密度来看,3、9、13、17 a 杨农间作系统 0~60 cm 土壤有机碳密度分别为 11.25 t/hm²、11.19 t/hm²、13.71 t/hm² 和 16.17 t/hm²,总体上呈逐年增加的趋势,而且这种趋势在各个土层深度都是相同的。

表 4 不同深度土壤有机碳密度及占 0~60 cm 土体碳密度的比例

土层深度/ cm	3 a		9 a		13 a		17 a	
	碳密度/(t/hm ²)	比例/%	碳密度/(t/hm ²)	比例/%	碳密度/(t/hm ²)	比例/%	碳密度/(t/hm ²)	比例/%
0~20	4.80	42.66	5.47	45.13	5.65	41.21	6.23	38.53
20~40	3.37	29.96	3.39	27.97	4.28	31.22	5.29	32.71
40~60	3.08	27.38	2.33	26.90	3.78	27.57	4.65	28.76
合计	11.25	100	11.19	100	13.71	100	16.17	100

2.5 不同间作年限杨农间作系统土壤有机碳固存速率

由表 5 可知,豫东砂土平原杨农间作系统 3~17 a,0~60 cm 土壤有机碳平均固存速率达到 0.351 4 t/(hm²·a)。从不同年限杨农间作系统土壤有机碳固定速率来看,大体上随着年限增加固碳速率是增加的。间作 3~9 a 时,0~60 cm 土壤有机碳固存速率为 0.145 0 t/(hm²·a),9~13 a 时为 0.397 5 t/(hm²·a),而 13~17 a 时为 0.615 0 t/(hm²·a),9 a 以上杨农间作系统土壤固碳速率快速增加,13~17 a 达到稳定。说明杨农间作系统必须到达一定年限才能达到较好的土壤有机碳固存效果,而且要保持稳定经营才能更好地发挥其固碳效益。

表 5 不同间作年限杨农间作系统土壤有机碳
年均固存速率 t/(hm²·a)

土层/cm	3~9 a	9~13 a	13~17 a	3~17 a
0~20	0.111 7	0.045 0	0.145 0	0.102 1
20~40	0.003 3	0.222 5	0.475 0	0.137 1
40~60	0.030 0	0.130 0	0.217 5	0.112 1
0~60	0.145 0	0.397 5	0.615 0	0.351 4

3 结论与讨论

1) 豫东砂土平原 3、9、13、17 a 杨农间作系统土壤各层的有机碳含量随着土壤深度的增加而逐渐下降,随着间作年限的增加而逐渐增加。0~20 cm 土层有机碳含量最高,为 1.58~2.09 g/kg,而 40~60 cm 层的最低,为 1.00~1.51 g/kg。

2) 杨农间作系统土壤有机碳(SOC)含量和土壤 pH 值存在一定的线性负相关,其相关方程为: $SOC = -0.232pH + 3.535$,其中 $r = 0.436$, $P < 0.05$ 。土壤有机碳(SOC)和土壤全氮(N)之间存在显著的线性正相关,其线性回归方程为: $N = 0.139SOC - 0.051$,其中 $r = 0.777$, $P < 0.01$ 。

3) 杨农间作系统土壤有机碳密度随着间作年限的增加呈增加趋势,3、9、13、17 a 间作系统 0~60 cm 土壤碳密度分别为 11.25 t/hm²、11.19 t/hm²、13.71 t/hm² 和 16.17 t/hm²。随着间作年限的增加,可以增加深层土壤碳存贮能力。

4) 豫东砂土平原 3~17 a 杨农间作系统 0~60 cm 土壤有机碳平均固存速率为 0.351 4 t/(hm²·a),随着年限增加而增加,一般 13~17 a 才能达到较高速率,说明要保持杨农间作系统稳定性才能充分发挥其固碳效益。

参考文献:

[1] 李克让. 土地利用变化和温室气体净排放与陆地生态系统碳循环[M]. 北京:气象出版社,2002:1-3.

[2] 樊巍,李芳东,孟平. 河南平原复合农林业研究[M]. 郑州:黄河水利出版社,2000:2-12.

[3] 李庆云,万猛,樊巍,等. 黄淮黄平原农区杨树人工林生物量和生产力研究[J]. 河南科学,2008,26(4):434-437.

[4] 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学常规分析方法[M]. 北京:科学出版社,1984.

[5] 韩新辉,杨改河,佟小刚,等. 黄土丘陵区几种退耕还林土壤固存碳氮效应[J]. 农业环境科学学报,2012,31(6):1172-1179.

[6] 魏克循. 河南土壤地理[M]. 郑州:河南科学技术出版社,1995:332-352.

[7] 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.

[8] 刘景双,杨继松,于君宝,等. 三江平原沼泽湿地土壤有机碳垂直分布特征研究[J]. 水土保持学报,2003,17(3):5-8.

[9] 李忠,孙波,林心雄. 我国东部土壤有机碳的密度及转化的控制因素[J]. 地理科学,2001,21(4):301-307.