

黄泛沙地林农间作土壤的物理性质改良及碳固持特征

刘超¹, 潘嘉琛¹, 董智¹, 李耀斌², 张琪², 吴其聪¹

(1.山东农业大学 林学院/泰山森林生态系统定位研究站, 山东 泰安 271018; 2.山东省国有东明林场, 山东 东明 274509)

摘要: [目的] 探究白蜡林不同林农间作模式对黄泛沙地土壤物理性质改良尤其是碳固持的影响, 为区域未来林农间作模式优化提供科学指导。[方法] 以山东省菏泽市黄泛沙地国有东明林场白蜡—菊花、白蜡—花生、白蜡—大豆 3 种典型林农间作模式为研究对象, 以白蜡纯林为对照, 采用野外采样与室内测试相结合的方法, 分析不同模式的土壤物理性质及碳固持特征。[结果] ① 0—20 cm 的土壤容重差异显著, 呈现白蜡纯林 > 白蜡—花生间作 > 白蜡—菊花间作 > 白蜡—大豆间作的趋势, 白蜡—大豆间作模式可明显降低 0—20 cm 层土壤容重 (较其他模式降低 7.4%~13.2%), 提高土壤总孔隙度 (提高 2.3%~19.8%), 改良土壤结构; ② 白蜡—大豆间作模式土壤固碳能力最强, 比纯林高 14.54 t/hm², 且随土层深度增加表现越明显, 更有益于增强土壤肥力, 进而提高土壤质量。[结论] 在碳中和的模式下, 白蜡—大豆间作模式应是黄泛沙地农林经营管理的重点, 在提高区域生态效益的同时, 可进一步促进农林业绿色发展。

关键词: 林农间作模式; 土壤改良; 碳固持; 易氧化碳; 黄泛沙地

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2022)03-0318-06

中图分类号: S153, S156

文献参数: 刘超, 潘嘉琛, 董智, 等. 黄泛沙地林农间作土壤的物理性质改良及碳固持特征[J]. 水土保持通报, 2022, 42(3): 318-323. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2022.03.040; Liu Chao, Pan Jiachen, Dong Zhi, et al. Characteristics of soil physical property improvement and carbon sequestration for agroforestry in Yellow River flood plain [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(3): 318-323.

Characteristics of Soil Physical Property Improvement and Carbon Sequestration for Agroforestry in Yellow River Flood Plain

Liu Chao¹, Pan Jiachen¹, Dong Zhi¹, Li Yaobin², Zhang Qi², Wu Qicong¹

(1. College of Forestry, Taishan Forest Ecosystem Research Station, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018, China; 2. State-owned Dongming Forest Farm of Shandong Province, Dongming, Shandong 274509, China)

Abstract: [Objective] The effects of different agroforestry systems on soil physical properties, especially carbon sequestration, in the Yellow River flood plain was determined, in order to provide scientific guidance for optimizing regional agroforestry systems in the future. [Methods] Soil physical properties and carbon sequestration characteristics were analyzed in a Chinese ash (*Fraxinus chinensis*) plantation under different agroforestry systems. Soil samples were collected from an ash plantation located in the Dongming National Forest Farm, Shandong Province, China. The following agroforestry systems were evaluated: ash and chrysanthemum (BJ), ash and peanut (BH), ash and soybean (BD), and ash alone (as the control, CK). [Results] ① The BD system significantly reduced soil bulk density in the 0—20 cm layer (7.4%~13.2% lower than the other systems), with bulk density following the order of CK > BH > BJ > BD. The BD system also increased soil total porosity (2.3%~19.8% higher), improved soil water retention ratio, and improved soil structure; ② The BD system had the strongest soil carbon sequestration capacity (14.54 t/hm² higher

收稿日期: 2021-11-02

修回日期: 2021-12-25

资助项目: 山东省农业科技资金项目林业科技创新课题“黄泛沙地防风治沙型优良经济林草高效栽培技术与示范(2019 LY005-03)”

第一作者: 刘超(1995—), 男(汉族), 山东省泰安市人, 硕士研究生, 研究方向为土壤侵蚀及荒漠化治理。Email: 2020120784@sdau.edu.cn。

通信作者: 董智(1971—), 男(蒙古族), 内蒙古自治区乌兰察布市人, 博士, 教授, 主要从事荒漠化防治与生态修复方面的研究。Email: nmgdz@163.com。

than that of CK). Soil carbon sequestration increased with soil depth, and was more conducive to enhancing soil fertility and improving soil quality. [Conclusion] In the carbon neutral mode, the BD agroforestry system should be the focus of agroforestry management in the Yellow River flood plain, because this system not only improves the regional ecological benefit, but also promotes the green development of agriculture and forestry.

Keywords: agroforestry systems; soil improvement; carbon sequestration; easily oxidized organic carbon; the Yellow River flood plain

林农间作或农林复合系统因具有增加栽培品种的多样性,提高系统稳定性,增加劳动机会等优点,与单一农业生产相比,能够显著提升农业生产率与土地利用效率、增加农民收入^[1-4],满足区域社会经济需要,同时具有提高生物多样性、改良小气候、促进土壤养分循环、减少土壤侵蚀等生态功能,促进了农业系统的长期可持续性生产经营^[5-9]。近年来,农林复合经营在中国各地区得到了普遍应用和具体实施。通过林下经营,开展整地、施肥、除草、浇灌等人为措施,可降低抚育成本,增加土壤团聚体粒径、稳定性和孔隙度,增强土壤渗透性、土壤水分和养分,改善土壤质量,同时对农田的水分循环产生良好的影响^[10],研究普遍表明间作地各项土壤性状指标均要好于纯农业用地^[6-8]。目前,关于农林间作模式对土壤理化性质的研究方面,诸多学者的侧重点多集中于用材林、生态防护林、绿篱等常用树种与农作物间作,而有关绿化树种与农作物间作模式对土壤改良的研究尚不多见,尤其关于碳固持的能力。

黄泛沙地主要由黄河下游泥沙冲积而成,土壤质地为砂壤土,营养成分含量较低且不易保水保肥,单一种植模式产量低,农作物易受风沙侵害。东明县总面积约为 130 600 hm²,现有农田约为 89 600 hm²,其中黄泛沙地占农田面积的 45%左右,构成了农民经济收入的主体。如何在黄泛沙地实现高质量经营是区域生态管理的关键。为有效地开展防风固沙工作,黄泛沙地曾经主要采用杨树为主的农林复合经营模式,在防护农田、提高土壤肥力等方面已取得一定效果,如:以毛白杨幼林的农林间作改善土壤水分状况,提高土壤肥力,进而改善林木营养状况,促进林木生长^[11]。但杨树后期需水量大,破坏了区域水文平衡。现阶段,随着生态建设、园林绿化的兴起,加大了对绿化苗木的需求,东明县正探索营造以白蜡、红枫、国槐等绿化苗木进行林农、林药等多种复合经营模式。白蜡耐寒、喜湿、耐涝,也耐干旱,对土壤要求不严,在黄泛沙地及黄河滩地具有较强的适应性,且随着园林业的发展,白蜡作为景观树种,经济价值相对较高,是当前该区域农林间作的首选树种,但对于其与农作物间作后对土壤的改良效应尚缺乏

科学地评估数据,因此,开展白蜡(林农)不同间作模式对土壤理化性质及碳固持的影响对揭示其土壤改良与碳储存效应具有重要意义。基于此,本文选择山东省国有东明林场典型林农间作模式白蜡—菊花、白蜡—花生、白蜡—大豆为研究对象,定量评估 3 种间作模式下 0—60 cm 土壤物理性质、有机碳含量、易氧化有机碳含量及碳储量的差异特征,以期揭示不同间作模式对土壤理化性状的影响,阐明其在保肥固碳及改善土壤质量方面的差异性,为区域林农复合经营模式管理,生态效益及服务功能的核算提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

研究区位于山东省国有东明林场(115°5′—115°7′E, 35°9′—35°14′N),地处淮河流域黄泛平原风沙区。林场始建于 1960 年,场部坐落于东明集镇,总面积 446 hm²,林地面积 366.7 hm²,主要以杨树、白蜡、泡桐、国槐、红枫等树种为主。研究区地貌属于黄河冲积平原,为黄河多次决口形成的决口扇形地,地势较为平坦,以缓平坡地为主。土壤成土母质为黄河冲积物,主要为风沙土,土壤质地为砂壤土。研究区属暖温带季风性半湿润气候,多年平均气温 15.5 ℃,多年平均降水量为 609.3 mm,多集中在 6—9 月,雨热同季,无霜期 215 d。春夏季盛行南风,秋冬季盛行北风,年均风速 3 m/s,春季最大风速达 15 m/s。

1.2 试验设计

在研究区选择立地条件基本一致的白蜡人工林林斑,树龄 3 a。3 种间作模式集中分布于林场 3 个林斑 6 个小斑,其中每个小斑面积为 6.6 hm²。设计了白蜡—菊花、白蜡—花生、白蜡—大豆 3 种林农间作模式。以白蜡纯林为对照(CK),间作时间为 1 a。在不同间作模式小斑内分别选择 3 块调查样地,每块样地 1 hm²。各样地白蜡株行距为 4 m×5 m,平均树高为 3.75±0.26 m,平均胸径为 5.42±0.14 cm,平均冠幅为 2.2 m×2.3 m。白蜡行间种植菊花、花生、大豆,其中,菊花与大豆为行植,菊花株行距为 30 cm

×30 cm,大豆株行距为 40 cm×15 cm;花生为双行垄作,垄上株行距为 40 cm×15 cm,垄距为 60 cm。采收时,菊花仅采集花朵,对土壤扰动小;为避免大豆与花生采收对土壤的扰动,提前告知农民,在每块试验地采收时,随机在地块内留 1~2 m 暂时不采收的地段 10 处,取样时在行间、垄、垄间土壤均未扰动的地段取样。为消除各样地因施肥不同而对土壤理化性质的影响,种植期间均采用统一的经营管理方式。

1.3 土壤样品的采集与测定

2020 年 10 月,在菊花采收,花生、大豆等农作物收获后,采用 35 mm 土钻按照 S 型取样法,取 0—20(耕层),20—40,40—60 cm 层土样,每个样地取 3 种重复,并用环刀、铝盒取样,进行土壤物理性质测定,其中土壤孔隙度测定采用环刀浸水法,容重、土壤含水量采用烘干法^[12];土样经风干后研磨过筛,采用外加热重铬酸钾氧化—容量法测定土壤的有机碳含量,并计算土壤碳储量^[13];采用高锰酸钾氧化比色法测定土壤易氧化有机碳(ROOC)含量^[14],计算 0—20 cm 层土壤碳库活度(L)。

土壤碳储量的计算公式为:

$$SOC_i = \sum_{i=1}^n 0.1 \times \gamma_i \cdot D_i \cdot C_i \quad (1)$$

式中:SOC_i 为土壤层碳储量(t/hm²); γ_i 为第 *i* 层土壤容重(g/cm³); D_i 为第 *i* 层土层厚度(cm); C_i 为第 *i* 层土壤有机碳含量(g/kg)。

$$\text{碳库活度(L)} = \frac{\text{土壤易氧化碳含量}}{\text{土壤非活性有机碳含量}} \quad (2)$$

1.4 数据处理

采用 IBM SPSS Statistics 26 软件进行数据分析、方差分析和多重比较;采用 Origin 2021 b 进行图像绘制。

2 结果与分析

2.1 不同间作模式土壤物理性质差异

不同间作模式的土壤物理改良差异见表 1。差异主要集中于 0—20 cm。0—20 cm 土层白蜡—大豆间作模式能够显著降低土壤容重(白蜡纯林>白蜡—花生间作>白蜡—菊花间作>白蜡—大豆间作, $p<0.05$),增强土壤毛管孔隙度,但土壤总孔隙度无显著差异($p>0.05$),白蜡—大豆间作和白蜡—菊花间作模式在土壤透水、透气性的改良效果明显优于白蜡—花生间作模式,促进土壤入渗。在 20—60 cm 土层,不同林农间作模式与白蜡纯林相比,土壤容重、总孔隙度、非毛管孔隙度虽然大小不同,但总体无显著性差异($p>0.05$)。在 20—40 cm 土层毛管孔隙度白蜡—菊花间作与白蜡—花生两种间作模式间存在显著差异($p<0.05$),在 40—60 cm 土层各指标均无显著差异,表明耕作层以下的 40—60 cm 土壤,间作作物对土壤物理性质的影响并不明显。总体上,白蜡—大豆间作模式的物理性状优于白蜡—菊花和白蜡—花生两种间作模式。

表 1 不同间作模式的土壤物理性质

土层深度/cm	间作模式	容重/(g·cm ⁻³)	总孔隙度/%	毛管孔隙度/%	非毛管孔隙度/%
0—20	白蜡纯林	1.59±0.04 ^{ab}	38.13±0.03 ^a	29.28±0.01 ^b	8.85±0.03 ^a
	白蜡—菊花	1.49±0.04 ^{ab}	43.33±0.01 ^a	33.00±0.01 ^a	10.33±0.02 ^a
	白蜡—花生	1.58±0.05 ^a	37.00±0.05 ^a	28.33±0.02 ^b	8.67±0.03 ^a
	白蜡—大豆	1.38±0.05 ^b	44.33±0.02 ^a	36.33±0.01 ^a	8.00±0.01 ^a
20—40	白蜡纯林	1.54±0.04 ^a	38.93±0.02 ^a	35.72±0.03 ^a	3.20±0.02 ^a
	白蜡—菊花	1.59±0.05 ^a	35.67±0.01 ^a	33.00±0.02 ^a	2.33±0.01 ^a
	白蜡—花生	1.60±0.02 ^a	34.33±0.02 ^a	28.67±0.01 ^b	5.67±0.02 ^a
	白蜡—大豆	1.69±0.06 ^a	33.00±0.01 ^a	30.33±0.01 ^{ab}	2.67±0.01 ^a
40—60	白蜡纯林	1.51±0.02 ^a	37.74±0.02 ^a	32.84±0.02 ^a	4.90±0.03 ^a
	白蜡—菊花	1.51±0.02 ^a	36.00±0.01 ^a	35.00±0.01 ^a	1.33±0.01 ^a
	白蜡—花生	1.59±0.04 ^a	36.67±0.03 ^a	31.67±0.01 ^a	5.00±0.03 ^a
	白蜡—大豆	1.62±0.06 ^a	38.00±0.04 ^a	35.33±0.02 ^a	2.67±0.02 ^a

注:同列不同小写字母表示相同土层不同间作模式条件间差异显著($p<0.05$)。下同。

2.2 不同间作模式土壤碳储量特征

不同林农间作模式下 0—60 cm 土壤总碳储量具有差异性,其中白蜡—大豆间作模式碳储量最高,达

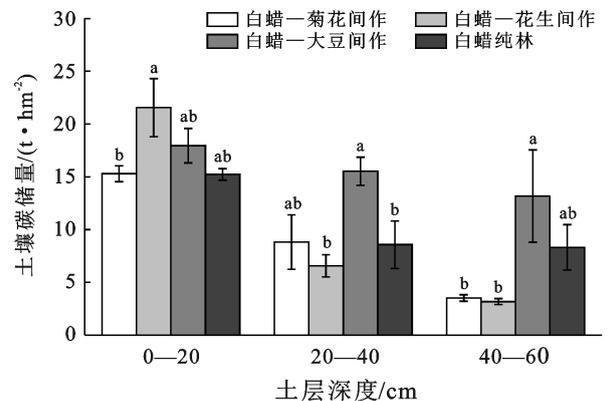
46.66 t/hm²,显著高于其余两种间作模式,白蜡—花生和白蜡—菊花间作两种间作模式碳储量均低于白蜡纯林,但其差异较小,基本维持在 27.6~31.3 t/hm²。由

图 1 可知,各间作模式在不同土层碳储量含量具有明显的差异性和层级性,在 0—40 cm 土壤各层碳储量存在显著差异($p < 0.05$),其中 0—20 cm 土壤白蜡—花生间作(21.56 t/hm^2) > 白蜡—大豆间作(17.95 t/hm^2) > 白蜡—菊花间作(15.29 t/hm^2) > 白蜡纯林(15.23 t/hm^2),20—40 cm 土壤碳储量大小为白蜡—大豆间作(15.53 t/hm^2) > 白蜡—菊花间作(8.81 t/hm^2) > 白蜡纯林(8.57 t/hm^2) > 白蜡—花生间作(6.57 t/hm^2)。随着土层深度的增加,白蜡—花生间作模式土壤碳储量降低最大,达到 14.99 t/hm^2 ,仅为表层碳储量的 30.47%,白蜡—菊花和白蜡—大豆间作模式土壤碳储量降低较小,集中于 $2.4 \sim 6.5 \text{ t/hm}^2$ 范围。白蜡—大豆间作模式土壤碳储量降低最少,在 20—40 cm 层固碳能力略强于白蜡—菊花和白蜡—花生两种间作模式。在 40—60 cm 层,白蜡—大豆间作模式对土壤碳储量影响效益持续增大,显著高于白蜡—菊花和白蜡—花生两种间作模式($p < 0.05$),土壤碳储量大小表现为:白蜡—大豆间作(13.18 t/hm^2) > 白蜡纯林(8.32 t/hm^2) > 白蜡—菊花间作(3.52 t/hm^2) > 白蜡—花生间作(3.18 t/hm^2)。白蜡—花生间作模式与白蜡纯林相比 0—20 cm 表层土壤碳储量虽然增加 6.33 t/hm^2 ,但深层土壤碳储量明显降低(5.14 t/hm^2),白蜡—大豆间作模式土壤碳储量在 20—60 cm 明显高于其余两种间作模式,造成总量上白蜡—大豆间作模式高于白蜡—菊花和白蜡—花生间作。

2.3 不同间作模式土壤有机碳含量

土壤有机碳表征土壤质地与土壤肥力,不同间作模式土壤有机碳含量随土层深度增加其变化趋势相同,均随土层深度增加而降低,而其中白蜡—大豆间作模式降低较少,其余两种间作模式降低较多。由图 2 可知,在 0—20 cm 土层,3 种间作模式与白蜡纯林

之间均无明显差异。其中白蜡—花生间作模式土壤有机碳含量最高,其次为白蜡—大豆间作和白蜡—花生间作。白蜡—大豆间作模式较白蜡—菊花间作模式高 33.3% 和 26.7%。种植豆科的花生与大豆均可有效地提高表层土壤有机碳。在 20—60 cm 层土壤有机碳含量均为白蜡—大豆间作 > 白蜡纯林 > 白蜡—菊花间作 > 白蜡—花生间作。白蜡—大豆间作模式均显著提升土壤有机碳含量,尤其在 40—60 cm 土层。随着土层深度的增加,土壤有机碳含量均降低,但白蜡—大豆间作模式降低最少,仅降低了 37.90%,白蜡—菊花间作模式土壤有机碳含量随土层深度的增加下降最为明显,降低率高达 85.38%。在 20—40 cm 土层,白蜡—大豆间作模式较白蜡—菊花间作,白蜡—花生间作模式分别提高 25.6%,38.2%;在 40—60 cm 层土壤白蜡—大豆间作模式比白蜡—菊花间作模式的土壤有机碳含量高 55.2%,比白蜡—花生间作模式的土壤有机碳含量高 60%,且白蜡—花生和白蜡—菊花两种间作模式的土壤有机碳含量均低于白蜡纯林。这说明在 20—60 cm 土层,白蜡—大豆间作模式能更好地提高土壤有机碳含量。



注:每层不同小写字母表示相同土层不同间作模式条件下差异显著($p < 0.05$),下同。

图 1 黄泛沙地白蜡林不同间作模式土壤碳储量

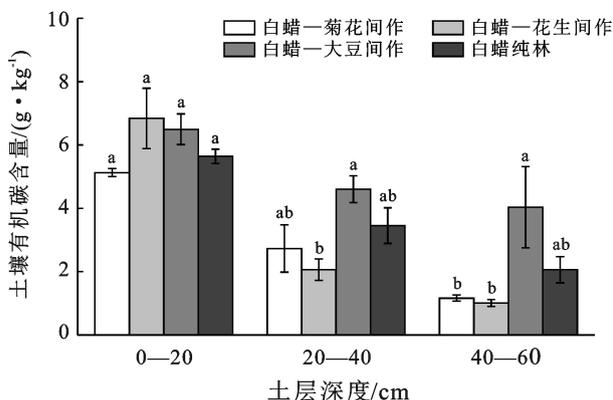
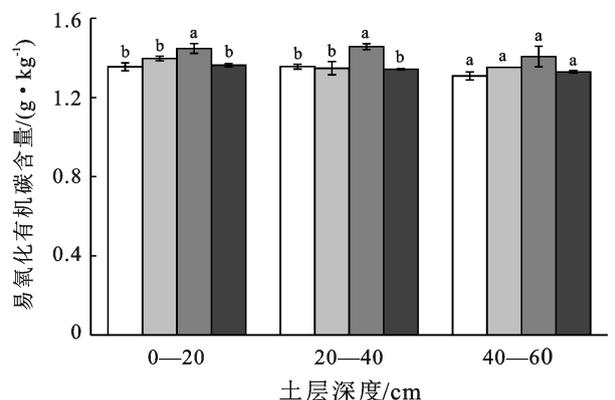


图 2 黄泛沙地白蜡林不同间作模式各土层土壤有机碳与易氧化有机碳含量特征



土壤表层土壤碳库活度如下:白蜡—菊花间作模式0.264,白蜡—花生间作模式0.204,白蜡—大豆间作模式0.223。3种模式间土壤表层碳活度相差不大,且均无显著差异。在0—60 cm层土壤易氧化有机碳含量表现为白蜡—大豆间作(4.31 g/kg)高于白蜡—菊花间作(4.09 g/kg)和白蜡—花生间作(4.02 g/kg),且均高于白蜡纯林(4.01 g/kg)。不同间作模式下土壤易氧化有机碳含量均随土层的加深呈现下降的趋势,下降趋势与土壤有机碳量随土层深度的下降趋势一致,且白蜡—大豆间作模式的土壤易氧化有机碳含量高于白蜡—花生和白蜡—菊花间作模式的含量,表明土壤易氧化有机碳作为土壤有机碳的重要组成部分,其含量垂直变化随土壤有机碳含量垂直变而变化,且变化趋势相同,但变化程度较小,范围集中在0.04~0.06 g/kg。在0—60 cm土层,白蜡—大豆间作模式土壤易氧化有机碳均最高,且在0—40 cm层均与白蜡—菊花间作、白蜡—花生间作、白蜡纯林模式的土壤易氧化有机碳含量存在显著差异,40—60 cm土层无显著差异。白蜡—大豆间作模式较白蜡—菊花和白蜡—花生间作模式能够显著提升土壤易氧化有机碳含量,但对深层土壤易氧化有机碳的含量影响较小。

3 讨论

3.1 不同白蜡间作模式对土壤物理性质的影响机制

土壤容重、土壤孔隙是土壤重要的基本物理性质,对土壤的透气性、入渗性、持水性、溶质迁移以及土壤抗蚀能力等特性有着重要影响^[15-17]。与白蜡纯林相比,间作林地对林下土壤利用充分,通过耕作可达到以耕代抚的作用,因而可较好地改良土壤物理特性。通过白蜡林农间作,本研究得出3种间作模式0—20 cm土层土壤容重较纯林降低了0.6%~13.2%,以白蜡—大豆间作降低幅度最大;3种间作模式的土壤总孔隙度较纯林有所增大,白蜡林农间作模式适合黄泛沙地土壤改良,增强抗风蚀性,提高保水性。本研究进一步定量分析表明,在土壤表层(0—20 cm),白蜡大豆间作模式较其他两种间作模式能显著降低土壤容重,降低幅度为6.0%~12.6%,改良土壤结构,增强土壤透水、透气性能,而在深层土壤(20—60 cm)层,白蜡大豆间作模式的土壤容重比其他两种复合模式的土壤容重大,这主要是由于植物根系和枝叶枯落物影响^[18]。黄泛沙地采取间作措施后,白蜡和间作作物根系及白蜡枯落物对表层土壤具有直接作用,通过根系挤压土壤,造成表层土壤疏松,降低了土壤容重,深层土壤受到上层土壤的挤压,土壤变得紧实,土壤

容重增大;而林下间作大豆,其根系较其他作物丰富,具有更好地改善土壤物理性状的作用。董智等^[19]在研究黄泛平原风沙化土地上种植豆科和禾本科牧草的土壤改良效果时指出,在黄泛平原风沙化土地种植牧草能够明显改善土壤物理性状,提高土壤肥力,而由于豆科植物根系中根瘤菌具有固氮作用,豆科牧草对土壤的改良效果优于禾本科牧草。但本研究表明,花生、大豆虽同属豆科植物,但在短期种植时间内,大豆对土壤的改良表现出更好的效果。

3.2 不同白蜡间作模式对土壤碳固持的影响机制

农业是碳固持的重要手段,通过农作物种植及收获,可显著增加土壤碳含量,尤其提高了土壤生物所需要的营养性有机碳,对全球碳循环至关重要^[20]。林农间作模式下,林木凋落物固持的碳一部分被植物根系吸收后重新利用,一部分会固定在土壤团聚体中,增加土壤肥力^[20]。通过白蜡林农间作,本研究得出菊花、花生、大豆3种农作物短期农林间作仅白蜡—大豆间作显著提升土壤碳库含量。这可能是因为,与花生和菊花相比,大豆的根系呈钟罩状,根系较深,横向扩展可达35—45 cm,根系残留较多,根系的残留是其土壤有机碳的一个重要来源。为了探究间作模式差异的原因,进一步分析土壤易氧化有机碳,其在反映土壤质量和肥力变化时比总有机碳更灵敏,能够比较早地揭示土壤肥力变化情况,被视为土壤管理措施变化引起土壤有机质变化和土壤潜在生产力的早期指标^[21-23]。本研究中,3种不同农林复合模式有机碳、易氧化有机碳含量整体呈随着土层深度下降趋势,白蜡大豆间作模式相对下降较少,更有益于提高土壤有机碳含量,这是因为相比于菊花,花生和豆具有一定的固氮能力,氮含量的增加可以促进土壤中腐殖质加快转化为有机碳,从而增加土壤有机碳的含量。而经过现场调查发现,白蜡大豆间作模式比白蜡花生间作模式土壤中含有更多作物根系及枯落物,表明白蜡大豆表层土壤的碳储存能力较强,加大了土壤稳定作用,随即改善了土壤的物理及生物性质,使得土壤肥力明显提升^[21]。但仍需注意的是本研究区土壤固碳能力较弱,有机碳含量、土壤碳储量均随土层深度的增加而降低,这主要与黄泛沙地土壤特性有关,黄泛沙地土壤贫瘠,尤其深层土壤碳含量较低,土壤供给性较差^[24]。

4 结论

黄泛沙地土壤固碳能力较弱,碳储量较低,土壤肥力相对较弱,通过短期3种白蜡林农间作模式可显著改良0—20 cm土层土壤结构,提升土壤碳固持能

力。其中白蜡大豆间作模式更能明显改善土壤结构,提高土壤透水、透气性,增强土壤固碳能力,同时加强深层土壤固碳能力。因此,在提高土壤肥力,发挥土地生产潜能及提升黄泛沙地在涵养水源、保土固碳、改善土壤质量等方面,白蜡大豆是优先选择的林农间作模式。

因此,在黄泛平原地区积极引进、推广农林间作模式,注重经济效益的同时,应关注纯林、短期农林间作、长期农林间作对土壤质量及生态效益的影响,实现经济、研究、推广、生产一体化,为可持续发展提供坚实可行的科学依据。

[参 考 文 献]

- [1] Garrity D P, Okono, A., Grayson, M. et al, World Agroforestry into the Future [M]. Nairobi: World Agroforestry Centre, 2006.
- [2] Sobola O O, Amadi D C, Jamala G Y. The Role of Agroforestry in Environmental Sustainability [J]. Iosr Journal of Agriculture and Veterinary Science, 2015, 8 (5):20-25.
- [3] Pratiwi A, Suzuki A. Reducing agricultural income vulnerabilities through agroforestry training: Evidence from a randomised field experiment in Indonesia [J]. Bulletin of Indonesian Economic Studies, 2019, 55(1): 83-116.
- [4] Duffy C, Toth G G, Hagan R P O, et al. Agroforestry contributions to smallholder farmer food security in Indonesia [J]. Agroforestry Systems, 2021, 95(6): 1109-1124.
- [5] Kang B T, Akinnifesi F K. Agroforestry as alternative land-use production systems for the tropics [J]. Natural Resources Forum, 2000, 24(2):137-151.
- [6] Neupane R P, Thapa G B. Impact of agroforestry intervention on soil fertility and farm income under the subsistence farming system of the middle hills, Nepal [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2001, 84 (2):157-167.
- [7] Carolina Rodriguez, Georg Carlsson, Jan-Eric Englund, et al. Grain legume-cereal intercropping enhances the use of soil-derived and biologically fixed nitrogen in temperate agroecosystems. A meta-analysis [J]. European Journal of Agronomy, 2020(118):126077.
- [8] Techen A K, Helming K, Brüggemann N, et al. Soil research challenges in response to emerging agricultural soil management practices [J]. Advances in Agronomy, 2020, 161:179-240.
- [9] Sonwa D J, Weise S F, Schroth G, et al. Structure of cocoa farming systems in West and Central Africa: A review [J]. Agroforestry Systems, 2019, 93(5):2009-2025.
- [10] 万福绪,陈平,王严星.苏北林粮间作地土壤理化性质分析[J].南京林业大学学报(自然科学版),2003,27(6): 27-30.
- [11] 姜岳忠,刘盛芳,马履一,等.毛白杨幼林间作效应研究 [J].北京林业大学学报,2006,28(3): 81-85.
- [12] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000:14-114.
- [13] Blair G J, Lefroy R, 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, 46(7):1459.
- [14] 周伟,吴红慧,张运龙,等.土壤活性有机碳测定方法的改良[J].土壤通报,2019,50(1):70-75.
- [15] Alexander E B. Bulk densities of California soils in relation to other soil properties [J]. Soil Science Society of America Journal, 1980, 44(4):689-692.
- [16] 郑郁善,陈礼光,洪伟.毛竹杉木混交林生产力和土壤性状研究[J].林业科学,1998,34(S1): 16-25.
- [17] 三好洋,丹原一宽.土壤物理性质与土壤诊断[M].周顺行,毛礼钟译.北京:农业出版社,1986.
- [18] 任国勇.山东黄河故道风沙化土地杨农间作生态经济效益研究[D].山东泰安:山东农业大学,2009.
- [19] 董智,李红丽,任国勇,等.黄泛平原风沙化土地种植牧草改良土壤效果研究[J].中国草地学报,2008,30(3): 84-87.
- [20] 张维理, Kolbe H, 张认连.土壤有机碳作用及转化机制研究进展[J].中国农业科学,2020,53(2):317-331.
- [21] Haynes R J, Beare M H. Aggregation and organic matter storage in meso-thermal, humid soils [M]// Structure and Organic Matter Storage in Agricultural Soils. Florida, USA: CRC Press, 2020:213-262.
- [22] Dalal R C, Mayer R J. Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in southern Queensland (II): Total organic carbon and its rate of loss from the soil profile [J]. Soil Research, 1986, 24(2):281.
- [23] McLauchlan K K, Hobbie S E. Comparison of labile soil organic matter fractionation techniques [J]. Soil Science Society of America Journal, 2004, 68(5):1616-1625.
- [24] 赵广帅,李运生,高静,等.黄河下游灌区土壤碳储量及碳密度分布[J].生态环境学报,2014,23(7):1113-1120.