

典型干旱荒漠绿洲区不同年限枣园 土壤有机碳组成及特征

杜俊龙^{1,2}, 孙霞^{1,2}, 黄长福^{1,2}, 李志军^{1,2}, 金俊香^{1,2}, 闫建峰³

(1. 新疆农业大学 草业与环境科学学院, 新疆 乌鲁木齐 830052; 2. 新疆维吾尔自治区重点实验室
干旱区土壤与植物生态过程实验室, 新疆 乌鲁木齐 830052; 3. 新疆沙湾县商户地乡农业综合服务站, 新疆 沙湾 832117)

摘要: [目的] 分析不同种植年限的新疆干旱区枣园土壤有机碳组成及特征, 为该区域果业可持续发展提供理论依据。[方法] 以新疆南疆麦盖提县 4 种不同种植年限的枣园为研究对象, 分析测定不同园龄、不同层次土壤总有机碳、活性有机碳、有机碳密度及碳库活度。[结果] 随着种植年限的增加, 枣园土壤有机碳含量在时间尺度上表现为先增长后下降的趋势; 在空间尺度上, 有机碳含量表层最大, 随着土层厚度的增加呈现出逐层降低的趋势; 各个土层随种植年限的增加土壤有机碳密度变化趋势总体上为先减小后增大, 在空间尺度上, 土壤有机碳密度随土层深度的增加逐渐增大; 不同年限枣园土壤有机碳储量多数集中在土壤表层, 在 10 a 时达到最大; 在时间和空间尺度上, 土壤碳库活度总体上表现为先增大后减小的趋势。[结论] 该地区土壤有机碳含量随种植年限的增加逐渐增加, 在一定程度上, 土壤碳库含量随种植年限的增加积累程度不同; 土壤碳库活度随种植年限的增加各个层次的土壤碳库活度总体上表现为先增大后减小的趋势。

关键词: 种植年限; 枣园; 有机碳密度; 碳库活度

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)01-0033-05

中图分类号: S158.2

文献参数: 杜俊龙, 孙霞, 黄长福, 等. 典型干旱荒漠绿洲区不同年限枣园土壤有机碳组成及特征[J]. 水土保持通报, 2016, 36(1): 33-37. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2016.01.007

Composition and Characteristics of Soil Organic Carbon in Jujube Orchard with Different Planting Years in Typical Arid Desert Oasis Area

DU Junlong^{1,2}, SUN Xia^{1,2}, HUANG Changfu^{1,2},

LI Zhijun^{1,2}, JIN Junxiang^{1,2}, YAN Jianfeng³

(1. College of Grassland and Environmental Sciences, Xinjiang Agriculture

University, Urumqi, Xinjiang Uygur Autonomous Region 830052, China; 2. Xinjiang

Uygur Autonomous Region Key Laboratory, Xinjiang Laboratory of Soil and Plant Ecological

Process in Arid Zone, Urumqi, Xinjiang Uygur Autonomous Region 830052, China; 3. Shawan County Merchant

Township Comprehensive Agricultural Service Station, Shawan, Xinjiang Uygur Autonomous Region 832117, China)

Abstract: [Objective] The objective of this study is to analyze the composition and characteristics of soil organic carbon in jujube orchard with different planting years in Xinjiang arid area in order to provide a theoretical basis for the sustainable development of the regional fruit industry in this region. [Methods] Taking four different jujube orchards in the southern of Xinjiang Mengaiti County as the object, the total organic carbon, soil active organic carbon, organic carbon density and carbon activity in the orchard with different planting years were analyzed. [Results] With the increase of planting years, the content of soil organic carbon increased initially and then decreased. The content of soil organic carbon was the maximum at the surface of the soil, and it decreased with increasing soil depths. In contrast, soil organic carbon density decreased initially and then increased with the increase of planting years. Soil organic carbon stocks mostly

收稿日期: 2014-12-23

修回日期: 2015-01-14

资助项目: 新疆维吾尔自治区高校科研计划重点项目“新疆枣园生态系统土壤有机碳和酶活性特征及相关性研究”(XJUEDU2013115); 新疆维吾尔自治区重点学科建设项目, 自治区重点实验室干旱区土壤与植物生态过程实验室联合资助

第一作者: 杜俊龙(1990—), 男(汉族), 甘肃省康乐县人, 硕士研究生, 研究方向为果园土壤质量。E-mail: 313228784@qq.com。

通讯作者: 孙霞(1975—), 女(汉族), 江苏省建湖县人, 博士, 副教授, 主要从事土壤质量研究。E-mail: sunxia1127@163.com。

concentrated in surface soil, and with the increasing planting period, it increased initially, reached the maximum at 10 a, and then decreased. Similarly, soil carbon pool activity also showed a decreasing trend initially and then increased with the increase of planting years. [Conclusion] The content of soil organic carbon in the study area increased with the increase of the planting years, and the accumulation of soil carbon pool was different in various planting years. The activity of soil carbon pool at different layer increased initially and then decreased.

Keywords: planting; jujube; organic carbon density; carbon activity

近年来随着全球气候变化,人们对碳排放的关注日渐提升,与之相对的节能减排、生态系统的碳源、碳汇以及农业生态系统固碳等问题成为科学界研究的热点^[1]。国内外有关各种生态类型条件下土壤有机碳循环规律的研究成果颇丰,其中对森林土壤、农田土壤及草地土壤有机碳动态变化研究相对深入和广泛^[2-10]。森林生态系统是陆地生态系统中最大碳库,约占陆地生态系统碳总量的 70%^[11]。果园作为经济林的代表,是森林生态系统的重要组成部分,通过合理的施肥、覆盖、免耕等经营管理措施可以改良土壤结构,提高果园生产力,从而实现系统减排与农业增效的双赢^[12]。果园生态系统碳库主要包括土壤碳库、生物量碳库、凋落物碳库和动物体碳库,土壤是果园生态系统中最大的有机碳库,碳储量占总量的 70%以上^[13]。土壤有机碳代表了耕地土壤生产力水平,尽管土壤有机碳的含量占土壤总质量的很小一部分,但其对提高土壤肥力、维持生态系统平衡以及促进农业可持续发展等方面发挥着重要作用^[14]。果园土壤有机碳国内研究在苹果^[15-16]、柑橘^[17]、桃^[18]等果树上有报道,目前对枣园土壤有机碳的研究鲜有报道。本研究拟对枣园有机碳循环在地块时空尺度上进一步研究,探索不同园龄枣园有机碳组成,分析不同年限枣园土壤有机碳密度及碳储量,探明土壤有机碳库的大小、分配特征及累积趋势,将有助于丰富土壤碳库平衡理论,为区域果业可持续发展提供理论依据。

1 研究区概况

试验区位于新疆南部喀什地区麦盖提县新疆生产建设兵团 45 团果树连,地理位置为东经 77°28′—79°05′,北纬 38°25′—39°22′,位于塔里木盆地西部,叶尔羌河下游和提孜那甫河下游。属温带大陆性干燥气候,热量丰富,日照充足,昼夜温差大。年均日照 2 806 h 以上,降水量 39.4 mm,年积温 4 550 h 以上,平均气温 22.4 ℃,无霜期 214 d。果园由连队统一管理,枣园种植背景、管理方式、施肥、灌溉几乎一致,土壤的基本性状、理化性质很相似,该地区种植土壤为粉沙土,通透性好,种植品种均为灰枣。土壤有机质含量 9.47 g/kg,速效氮含量 22.10 mg/kg,速效磷含

量 14.71 mg/kg,速效钾含量 120.66 mg/kg,pH 值为 8.14,总盐含量 3.46 g/kg。

2 研究方法

2.1 试验方案

采样在 2014 年 4 月果树萌芽期进行,采样地点位于 45 团果树连,以 3,5,10,15 年生枣园为研究对象,各年限果园面积 4~66.67 hm²,各年限枣园里选取长势、大小、树相等一致的枣树各 3 棵,与树冠垂直投影范围内距树干于 2/3 处作为布设采样点,挖取 1 m 深土壤剖面,按照 0—5,5—10,10—20,20—30,30—50,50—70,70—100 cm 间距逐层采集土样,同时各层用环刀取原状土测定土壤容重,共 3 次重复,编号后置于密封袋带回实验室分析。

2.2 测定指标与方法

土壤有机碳的测定用重铬酸钾外加热法;土壤活性有机碳采用 KMnO₄ 氧化法;土壤容重用环刀法;土壤含水量用烘干法^[19];

土壤有机碳密度的计算:土壤有机碳密度是指单位面积一定深度土层内有机碳的储量,一般用 kg/m² 表示^[20]。某一土层有机碳密度(SOC_{*i*})计算公式为:

$$SOC_i = \frac{D_i \times E_i \times C_i \times (1 - G_i)}{100} \quad (1)$$

式中:*i*——土层代号; C_{*i*}——*i* 层土壤有机碳含量(g/kg); D_{*i*}——容重(g/cm³); E_{*i*}——土层厚度(cm); G_{*i*}——直径大于 2 mm 的石砾所占体积百分比(%),供试土壤为沙土,土体内大于 2 mm 的石砾几乎为零,忽略不计^[21-22]。下同。

某土体深度(剖面深度)为 *d*(cm),由 *n* 层组成,那么该土体深度 *d* 内有机碳密度 SOC_{*d*}(kg/m²) 计算如式(2):

$$SOC_d = \frac{\sum_{i=1}^n SOC_i \times D_i \times E_i \times C_i \times (1 - G_i)}{100} \quad (2)$$

式中:*d*——某土体剖面深度(cm); *n*——土壤层数; SOC_{*d*}——土体深度 *d* 内有机碳密度(kg/m²)。下同。

各层土壤单位面积有机碳储量占总有机碳储量的百分比的计算如式(3)^[23]:

$$R_i = SOC_i / \sum_{i=1}^n SOC_i \times 100\% \quad (3)$$

式中:R_{*i*}——第 *i* 层土壤单位面积有机碳储量占总有机

机碳储量的百分比(%)； SOC_i ——第 i 层土壤有机碳密度(kg/m^2)； n ——土壤层数。下同。

碳库活度(A)=活性碳含量(LOC)/非活性碳含量(NLOC)^[23]。

2.3 数据处理

数据分析和处理用 SPSS 17.0 和 Excel 2013 进行,用 Orgin 8 完成制图。

3 结果与分析

3.1 不同年限枣园土壤有机碳含量变化特征

不同年限的枣园土壤有机碳含量及其在土壤中垂直分布研究结果见图 1。枣园土壤有机碳含量介于 3.40~7.70 g/kg 之间,平均含量为 5.49 g/kg,其中最大值是最小值 2.26 倍。4 种年限的枣园土壤有机碳平均含量在 5.20~5.89 g/kg 之间,总体上显示出先增长后减小的趋势,其中 10 a 果园达到最大值 5.89 g/kg,3 a 时含量最少为 5.20 g/kg。进一步对不同年限的枣园土壤剖面有机碳含量进行分析,可知在 0—5,5—10,10—20 和 20—30 cm 的层次上土壤有机碳含量增长趋势显著。而在 30—50,50—70 和 70—100 cm 虽然有所增长但增长的趋势不显著。枣园土壤有机碳含量在时间尺度上表现为先增长后有所下降的趋势,总体表现为:3 a<5 a<15 a<10 a。

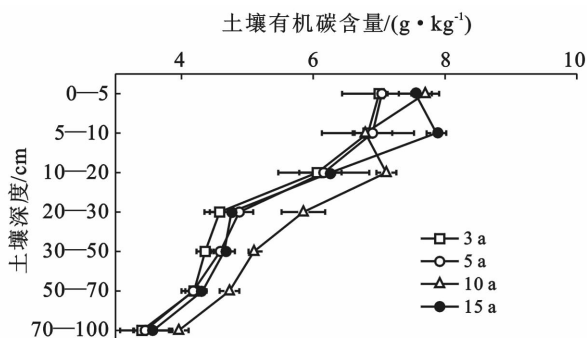


图 1 不同年限枣园土壤有机碳含量分布特征

从图 1 还可以看出,枣园土壤有机碳含量表层最大,随着土层厚度的增加呈现出逐层降低的趋势且降低幅度各不相同,在 0—30 cm 之间降幅比较大,而 30—100 cm 时降幅有所下降但幅度不大,尤其是在 3 和 5 a 的枣园土壤上表现的尤为明显。在 30—100 cm 范围上土壤有机碳含量随年限增长表现出增长的趋势,但是在 10 a 时达到最大,这与果树根系的生长发育动态和扩张范围^[18]相吻合,说明枣园土壤有机碳的积累与枣园年限和根系活动有直接的关系。

3.2 不同年限枣园土壤有机碳密度分布特征

由表 1 可知,土壤容重变化总体上随着土壤深度

的增加而增大,表现为土壤愈发紧实。土壤碳密度已成为评价和衡量土体中有机碳储量的重要的指标。

表 1 不同种植年限枣园土壤容重 g/cm^3

土层/cm	不同种植年限土壤容重			
	3 a	5 a	10 a	15 a
0—5	1.43	1.38	1.27	1.42
5—10	1.57	1.42	1.42	1.36
10—20	1.53	1.38	1.46	1.35
20—30	1.54	1.36	1.45	1.42
30—50	1.35	1.37	1.50	1.33
50—70	1.45	1.29	1.44	1.33
70—100	1.40	1.58	1.39	1.40

从表 2 可看出,在 1 m 深度范围内,枣园土壤有机碳密度的变化在 0.49~1.65 kg/m^2 之间,各个土层随种植年限的增加土壤有机碳密度变化趋势表现不同。随着土层深度的增加 5 a,10 a 和 15 a 枣园土壤有机碳密度表现出增加—减少—增加的趋势,3 a 时表现为增—减—增,4 种年限的枣园土壤有机碳最小值都出现在 0—10 cm 层次。时间尺度上,0—20 cm 的表层土壤有机碳密度差异不显著,在 30—50 cm 时各年限的土壤有机碳差异达显著水平。空间尺度上,除 3 a 时 30~50 cm 和 50~70 cm 差异不显著外,其他各层均表现显著差异,5 a 时 10~100 cm 上各层表现出差异显著,10 a 时 10~100 cm 上都表现出显著差异,15 a 时表层和底层差异不显著,其余各层差异显著。由表 2 还可以看出,在 10—100 cm 各个层次之间土壤有机碳密度 10 a 最大。

表 2 不同年限枣园土壤有机碳密度变化特征 kg/m^2

土层深度/cm	不同种植年限土壤有机碳密度			
	3 a	5 a	10 a	15 a
0—5	0.50±0.56 ^{Ae}	0.49±0.09 ^{Ae}	0.47±0.21 ^{Ae}	0.54±0.25 ^{Ad}
5—10	0.53±0.70 ^{Ae}	0.49±0.30 ^{Ae}	0.48±0.16 ^{Ae}	0.53±0.15 ^{Ad}
10—20	0.93±0.27 ^{Ac}	0.85±0.69 ^{AcD}	1.04±0.15 ^{Ac}	0.85±0.17 ^{Ac}
20—30	0.71±0.23 ^{Ad}	0.66±0.06 ^{AdE}	0.85±0.33 ^{Ad}	0.67±0.33 ^{Bc}
30—50	1.17±0.13 ^{Cb}	1.26±0.14 ^{ABb}	1.53±0.08 ^{Aa}	1.23±0.16 ^{Bb}
50—70	1.22±0.13 ^{Ab}	1.08±0.18 ^{Bbc}	1.37±0.15 ^{Ab}	1.15±0.06 ^{Ab}
70—100	1.43±0.13 ^{Aa}	1.63±0.38 ^{Aa}	1.65±0.15 ^{Aa}	1.50±0.29 ^{Aa}

注:小写字母表示同一年限土层差异显著;大写字母表示不同年限土层差异显著($p<0.05$)。

3.3 不同年限枣园土壤有机碳储量分布特征

由图 2 可知,不同年限枣园土壤有机碳储量多数集中在土壤表层(0—20 cm),平均为 29%。随着种植年限的增加,表层土壤碳储量呈现出先升后降的趋势,在 10 a 时达到最大,说明枣园表层土壤的碳储量在 10 a 之后有所下降。随着种植年限的增加,土壤中下层的碳库百分比有所提升,土壤有机碳储量百分

比趋向于均匀化,说明土壤有机碳库的递增效应是依赖于枣树根系的活动。

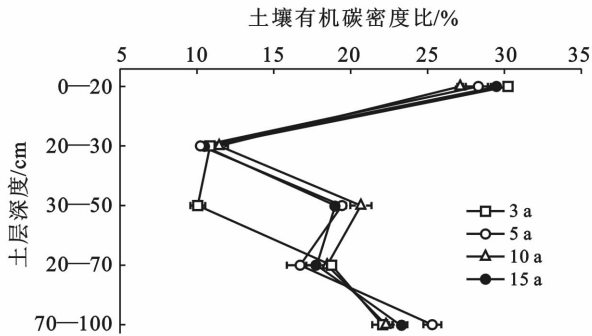


图 2 不同年限枣园土壤有机碳密度百分比

3.4 不同年限枣园土壤有机碳库活度

土壤碳库活度是土壤活性有机碳和非活性有机

碳含量的比值,它用来反映土壤碳素活跃程度,碳库活度越大,表示有机碳越易被微生物分解,土壤质量越高^[24]。从表 3 可以看出,在空间尺度上,随土壤深度的增加土壤碳库活度相同年限不同土壤层次变现各不相同,总体上表现为先增加后减小的趋势,在 0—5,5—10 和 20—30 cm 上不同年限枣园土壤碳库活度变化不大,30—50 cm 时碳库活动表现出先增后减的趋势,其中 10 a 时达到最大,10—20 cm 时,土壤碳库活度也表现为先增后减的趋势,但是在 5 a 时达到最大;50—70 cm 时表现为先增后减再增的趋势,5 和 15 a 时最大,3 a 时最小;相同年限不同土壤层次变现各不相同。在时间尺度上,随种植年限的增加各个层次的土壤碳库活度总体上表现为先增大后减小的趋势。

表 3 不同年限枣园土壤有机碳碳库活度

年限/a	碳组分	不同土层深度土壤有机碳碳库活度						
		0—5 cm	5—10 cm	10—20 cm	20—30 cm	30—50 cm	50—70 cm	70—100 cm
3	SOC	7.00	6.83	6.06	4.58	4.36	4.19	3.40
	LOC	0.78±0.11 ^b	0.77±0.08 ^b	0.81±0.31 ^a	0.46±0.12 ^c	0.36±0.21 ^{cd}	0.29±0.05 ^d	0.27±0.09 ^d
	NLOC	6.22±0.51 ^a	6.06±0.37 ^{ab}	5.26±0.26 ^b	4.11±0.46 ^c	4.00±0.18 ^c	3.90±0.24 ^{cd}	3.13±0.25 ^d
	A	0.13±0.07 ^{ab}	0.13±0.06 ^{ab}	0.15±0.04 ^a	0.11±0.02 ^b	0.09±0.01 ^c	0.07±0.03 ^d	0.09±0.01 ^c
5	SOC	7.04	6.90	6.16	4.88	4.59	4.18	3.45
	LOC	0.79±0.24 ^b	0.79±0.14 ^b	0.85±0.15 ^a	0.47±0.11 ^c	0.43±0.09 ^{cd}	0.40±0.18 ^d	0.35±0.17 ^c
	NLOC	6.25±0.61 ^a	6.10±0.84 ^b	5.31±0.54 ^c	4.41±0.26 ^d	4.17±0.51 ^{de}	3.78±0.12 ^e	3.10±0.07 ^f
	A	0.13±0.01 ^a	0.13±0.03 ^a	0.14±0.08 ^a	0.11±0.01 ^a	0.12±0.04 ^a	0.10±0.02 ^a	0.10±0.03 ^a
10	SOC	7.70	6.79	7.11	5.85	5.10	4.73	3.96
	LOC	0.87±0.15 ^a	0.77±0.21 ^b	0.88±0.27 ^a	0.59±0.19 ^c	0.55±0.24 ^c	0.44±0.18 ^d	0.37±0.09 ^e
	NLOC	6.84±0.74 ^a	6.02±0.65 ^{bc}	6.22±0.33 ^b	5.25±0.49 ^c	4.55±0.19 ^d	4.30±0.67 ^{de}	3.59±0.44 ^e
	A	0.13±0.01 ^a	0.13±0.04 ^a	0.14±0.09 ^a	0.11±0.04 ^a	0.12±0.02 ^a	0.10±0.08 ^a	0.10±0.01 ^a
15	SOC	7.55	7.87	6.26	4.76	4.65	4.32	3.57
	LOC	0.84±0.23 ^a	0.88±0.29 ^a	0.78±0.14 ^b	0.48±0.18 ^c	0.43±0.22 ^{cd}	0.41±0.17 ^{cd}	0.34±0.11 ^d
	NLOC	6.70±0.48 ^b	6.98±0.91 ^a	5.47±0.48 ^c	4.27±0.26 ^{cd}	4.22±0.05 ^{cd}	3.91±0.24 ^d	3.23±0.17 ^e
	A	0.13±0.03 ^a	0.13±0.02 ^a	0.14±0.01 ^a	0.11±0.05 ^a	0.10±0.01 ^a	0.11±0.05 ^a	0.10±0.02 ^a

注: SOC 指土壤有机碳; LOC 指活性有机碳; NLOC 指非活性有机碳; A 指碳库活度; 同一列不同字母表示差异达 5% 显著水平。

4 结论与讨论

对不同年限的枣园土壤有机碳含量研究表明: 麦盖提枣园有机碳含量介于 3.40~7.70 g/kg 之间, 通过对比有机质分级标准指标, 该地区的枣园有机质含量较低。对不同年限的枣园土壤有机碳比较可知, 枣园树龄在 10 a 时, 土壤中有机碳含量达到最高, 到 15 a 时开始下降, 说明随着枣树种植年限逐步增加, 土壤有机碳含量也随之增加, 枣树在 10 a 时对有机碳的积累效率最大, 超过 10 a 时有机碳的增长效率开始下降。有研究表明^[15] 小于 15 a 果园种植方式有利于土壤有机碳的增加, 大于 15 a 果园土壤有机碳下降, 这与所研究对象的不同有着直接关系, 前者的

研究对象为苹果园而本研究为枣园。两者都是多年生落叶果树对于碳的固定都随种植年限的增加而增加, 故土壤有机碳含量也随种植年限的增长呈不同程度增加。从土壤有机碳的垂直分布看, 土壤表层有机碳含量最高, 随着土壤深度的增加, 有机碳含量呈减少趋势, 与张心昱等^[16] 的研究结果一致。

本研究表明随着土层深度的增加 5, 10 和 15 a 枣园土壤有机碳密度表现出增—减—增—减—增的趋势, 3 a 时表现为增—减—增, 这与有机碳变化趋势不同, 表明有机碳密度的变化不仅与土壤有机碳含量有关还与土壤容重有关。树龄为 10 a 时, 有机碳密度显著增加, 到 15 a 时, 碳密度有所下降, 总体的有机碳密度变化趋势与石宗琳^[16] 的研究相类似。土壤剖面有

机碳库的变化趋势既体现了碳库容量大小,又体现着土壤剖面上有机碳累积的空间效应。为此,对不同种植年限枣园土壤逐层地进行有机碳库百分比计算,可以看出有机碳库的百分比与土壤有机碳密度的变化类似,并且随着种植年限的增长,有机碳库的百分比逐步趋于均匀化。

土壤活性有机碳的影响因素有很多,土壤环境因子的变化、土地利用方式的改变以及施肥等土壤管理措施,通过影响土壤有机碳的输入量、转化速率以及输出量,从而会引起土壤活性有机碳含量的变化^[4,9]。果园土壤有机碳主要来源于根系分泌物,并且大多转化成非活性部分贮存于土壤中,在 0—5, 5—10 和 20—30 cm 上不同年限枣园土壤碳库活度变化不大, 30—50 cm 时碳库活动表现出先增后减的趋势,其中 10 a 时达到最大, 10—20 cm 时,土壤碳库活度也表现为先增后减的趋势,但是在 5 a 时达到最大; 50—70 cm 时表现为先增后减再增的趋势, 5 和 15 a 时最大, 3 a 时最小,因此表明 4 中年限的枣园在土层为 30—50 cm,树龄为 10 a 时,该枣园的土壤最适宜枣树生长。因此本研究得出 0—100 cm 土层枣园土壤活性有机碳 10 a 均高于其余年份土壤,且随种植年限增加而递增然后减少;枣园土壤活性有机碳含量随着土层深度的增加而降低,这与有机碳含量变化趋势一致,说明活性有机碳含量受总有机碳含量变化的影响。

[参 考 文 献]

- [1] Buermann W, Lintner B R, Koven C D. The changing carbon cycle at Manna Loa Observatory[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2007, 104 (11): 4249-4254.
- [2] 李琳,李素娟,张海林,等. 保护性耕作下土壤碳库管理指数的研究[J]. *水土保持学报*, 2006, 20(3): 106-109.
- [3] 赵鑫,宇万太,李建东,等. 不同经营管理条件下土壤有机碳及其组分研究进展[J]. *应用生态学报*, 2006, 17 (11): 2203-2209.
- [4] Elzein A, Balesdent. Mechanistic simulation of vertical distribution of carbon concentrations and residence times in soils [J]. *Soil Science Society of America Journal* 1995, 59(5): 1328-1335.
- [5] Kucharik C J., Foley J A., Delire C, et al, Testing the performance of a dynamic global ecosystem model: Water balance, carbon balance and vegetation structure [J]. *Glob Biogeochem Cycle*, 2000, 14(3): 795-825.
- [6] 任春颖,张春华,王宗明,等. 松嫩平原玉米带农田表层土壤有机碳储量和固碳潜力研究[J]. *自然资源学报*, 2013, 28(4): 596-607.
- [7] Huggins D R, Clapp C E, Allmaras R R, et al. Carbon dynamics in corn-soybean sequences as estimated from natural carbon-13 abundance[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1998, 62(1): 195-203.
- [8] 杜惠平,高寒草地土壤有机碳组分之间及有机碳组分与土壤物理性质之间的相关性[D]. 兰州:甘肃农业大学, 2007.
- [9] Xin Gang, Yan Li, Wang Jingkuang, et al. Changes of organic carbon in black soils with the different reclamation years[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2002, 33 (5): 332-335.
- [10] Dalal R C, Chan K Y. Soil organic matter in rain-fed cropping systems of the Australian Cereal Belt [J]. *Australian journal of soil research*, 2001, 39 (3): 435-464.
- [11] Birdsey R, Pregitzer K, Lucier A. Forest carbon management in the United States: 1600—2100[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2006, 35(4): 1461-1469.
- [12] 查同刚,张志强,朱金兆,等. 森林生态系统碳蓄积与碳循环[J]. *中国水土保持科学*, 2008, 6(6): 112-119.
- [13] 李壮,张彩霞,李敏,等. 果园生态系统碳循环规律研究进展[J]. *辽宁农业科学*, 2010, 28(6): 28-31.
- [14] 王义祥,不同经营措施下果园土壤有机碳库特性及固碳潜力研究[D]. 福州:福建农林大学, 2011.
- [15] 甘卓亭,张掌权,陈静,等. 黄土塬区苹果园土壤有机碳分布特征[J]. *生态学报*, 2010, 30(8): 2135-2140.
- [16] 石宗琳,渭北苹果园土壤生物质量演化趋势[D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学, 2012: 40-41.
- [17] 林清山,洪伟,吴承祯,等. 永春县柑橘林生态系统的碳储量及其动态变化[J]. *生态学报*, 2010, 30(2): 309-316.
- [18] 郭家选,何桂梅,师光禄,等. 生草免耕桃园生态系统的碳交换动态变化特征[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(12): 216-212.
- [19] 鲍士旦. 土壤农业化学分析[M]. 3 版. 北京:中国农业出版社, 2000.
- [20] 邵月红,潘剑君,许信旺,等. 浅谈土壤有机碳密度及储量的估算方法[J]. *土壤通报*, 2006, 37(5): 1007-1011.
- [21] 沈宏,曹志洪,胡正义. 土壤活性有机碳的表征及其生态效应[J]. *生态学杂志*, 1999, 18(3): 32-38.
- [22] Blair G J, Lefroy R D B, LISLE L. Labile soil carbon fractions based on the degree of oxidation and the development of carbon management index for agricultural systems [J]. *Australian Journal of Agricultural Research*, 1995, 46(7): 1459-1466.
- [23] 张心昱,陈利顶,傅伯杰,等. 不同农业土地利用方式和管理对土壤有机碳的影响:以北京市延庆盆地为例[J]. *生态学报*, 2006, 26(10): 3198-3204.
- [24] 戴全厚,刘国彬,薛热,等. 不同植被恢复模式对黄土丘陵区土壤碳库及其管理指数的影响[J]. *水土保持研究*, 2008, 15(3): 61-64.