

土地利用方式对江西红壤旱地碳库管理指数的影响^①

武琳¹, 黄尚书¹, 叶川^{1*}, 钟义军¹, 黄欠如¹, 成艳红¹, 郑伟²,
孙永明¹, 高蕊¹, 周莺¹

(1 江西省红壤研究所, 南昌 331717; 2 江西省吉安市农业局, 江西吉安 343000)

摘要: 土壤碳库管理指数是表征土壤有机碳积累与质量的综合指标, 可有效地反映人类活动对土壤质量的影响。本研究以未开垦的红壤荒地作为对照, 研究了 3 种土地利用方式(农地、茶园、果园)下 0~40 cm 土层总有机碳和活性有机碳的分布特征及土壤碳库管理指数的变化。结果表明: 不同土地利用方式下各土层土壤总有机碳、活性有机碳的大小均表现为农地>果园~茶园>未开垦的红壤荒地, 相比于未开垦的红壤荒地, 其他 3 种土地利用方式均能显著提高土壤总有机碳、活性有机碳含量($P<0.05$)。红壤旱地开垦利用均能显著提高土壤碳库管理指数($P<0.05$), 但在选取的 3 种不同利用方式下, 土壤碳库管理指数在 0~10 cm 土层差异显著($P<0.05$), 表现为农地>果园~茶园; 在 0~20 cm 土层表现为农地与茶园相当($P>0.05$), 与果园有显著差异($P<0.05$); 在 20~40 cm 土层 3 种不同土地利用方式无明显差异($P>0.05$)。因此, 红壤荒地开垦利用能够提高土壤碳库管理指数, 且农用地比果园效果更佳。

关键词: 红壤旱地; 土地利用方式; 土壤有机碳; 碳库管理指数

中图分类号: S156.92 文献标识码: A

红壤是我国重要的土壤资源, 广泛分布于南方 15 省, 但由于长期不合理利用, 红壤主要形成了酸、瘦、黏、瘠、板等主要肥力特征^[1-2]。同时, 红壤分布地形、光照和水热等优势条件又决定了其恢复利用的可能性很大, 是 21 世纪以来农业开发的重点^[3]。土壤有机质是土壤肥力的重要内容, 也是红壤旱地土壤质量好坏的重要指标之一。有机碳则是土壤有机质的重要组成部分, 但是土壤有机碳含量的多少并不能很好地反映土壤质量的转化速率^[4], 因此, 目前常用对耕作措施更为敏感的土壤活性有机碳的含量来表征^[5-6]。活性有机碳虽然仅占总有机碳的一小部分, 且稳定性差、易氧化和分解^[5], 但能够在土壤全碳变化之前反映人类活动所引起的土壤的微小变化, 是土壤碳循环的关键和动力^[7-8]。Lefroy 等^[9]综合了土壤有机碳的总量与活性, 首次提出了土壤碳库管理指数 (CPMI) 的概念, 有效评价外部因素对土壤碳库的影响。研究表明, 土壤碳库管理指数能有效反映土壤中有机质的转化速率, 更为全面地反映耕作措施对土壤碳库的影响, 是比土壤有机碳总量更能反映土壤质量

变化的敏感指标^[10-11]。目前已广泛应用于施肥^[12-14]、保护性耕作^[15]和不同土地利用方式^[16]对土壤碳库影响的研究中。但是, 从土壤碳库管理指数变化来考虑合理耕层构建的研究则尚未见报道。

本研究以历史上未曾开垦的红壤荒地作为对照, 在分析农地、果园和茶园等不同土地利用方式下 0~40 cm 土层总有机碳和活性有机碳分布规律基础上, 探讨不同土地利用方式对土壤碳库管理指数的影响, 为深入研究和评价该区土地利用变化对土壤有机碳的影响提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区设在江西省红壤研究所(116°20'24" E, 28°15'30" N), 该地区气候温和、雨量丰富、日照充足、无霜期长, 属中亚热带季风气候, 年均降雨量 1 537 mm, 年蒸发量 1 100~1 200 mm; 年均气温 17.7~18.5 °C, 最冷月(1 月)平均气温为 4.6 °C; 最热月(7 月)平均气温一般在 28.0~29.8 °C。地形为典型低丘,

基金项目: 江西省重点研发计划项目(20161BBF60105)、江西省发明专利产业化项目(20161BBM26042)和公益性行业(农业)科研专项项目(201503119-05-01)资助。

* 通讯作者(yechuan555@sohu.com)

作者简介: 武琳(1983—), 女, 山西长治人, 硕士, 助理研究员, 主要从事土壤资源与环境研究。E-mail: zyjwl2004@163.com

海拔在 25 ~ 30 m, 坡度 5°。土壤类型为第四纪红黏土母质发育的红壤。

1.2 研究方法

本研究选取 4 种土地利用方式, 每种土地利用方式设置 3 个重复, 具体为: 对照(CK): 历史上未开垦的红壤荒地; 农地: 1990 年开垦的红壤旱地, 开垦初期种植花生, 现在主要种植制度是红薯-油菜; 茶园: 1992 年开垦建立的茶园; 果园: 1993 年开垦建立的桔园。2014 年 11 月在研究区各样方内采用“五点法”取 0 ~ 10、10 ~ 20、20 ~ 40 cm 的散状土, 最后将样方内各采样点土壤样品按土层混合, 作为分析样品。样品经室内风干后, 研磨并过筛, 用于土壤相关理化性质、总有机碳以及活性有机碳等指标的测定。

土壤 pH 测定采用电位法(水: 土=2.5: 1), 土壤容重测定采用环刀法, 土壤养分分析采用常规方法^[17], 土壤总有机碳测定采用 K_2CrO_7 外加热法, 土壤活性有机碳测定采用 333 mmol/L $KMnO_4$ 氧化法^[18]。

相关指标的计算^[14]: 碳库指数(CPI)=耕作土壤总有机碳/参考土壤总有机碳; 碳库活度(A)=活性有机碳/稳态碳含量; 碳库活度指数(AI)=土壤碳库活度/参考土壤碳库活度; 碳库管理指数(CPMI)=碳库指数×碳库活度指数×100。本研究中, 参考土壤为历史上未开垦红壤荒地, 设定其碳库管理指数为 100, 若土地利用方式转变后, 土壤碳库管理指数超过 100, 则说

明土壤碳库有所改善, 反之则说明土壤碳库变差。

1.3 数据处理

采用 DPS7.05 进行数据分析, 采用 Origin 8.1 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 不同土地利用方式对土壤基本理化性质的影响

由表 1 可以看出, 不同土地利用方式下土壤基本理化性质变化显著。各土地利用方式下 3 个层次土壤 pH 均比 CK 低, 尤其是 10 ~ 20 cm 和 20 ~ 40 cm 土层中达到显著性差异($P < 0.05$), 如与 CK 相比, 农地、茶园、果园 10 ~ 20 cm 和 20 ~ 40 cm 土层土壤 pH 分别降低 8.72%、10.77%、6.94% 和 13.13%、19.27%、16.53%。耕作有利于土壤容重降低, 表现为农地、茶园和果园不同层次的土壤容重均显著低于 CK($P < 0.05$), 均呈现 CK > 茶园 = 果园 > 农地的趋势。如 0 ~ 10 cm 土层, 农地、茶园、果园土壤容重较 CK 分别降低 13.13%、6.46%、4.62% ($P < 0.05$), 10 ~ 20 cm 土层土壤容重降低幅度为 3.58% ~ 10.24%, 20 ~ 40 cm 土层降低幅度为 3.43% ~ 9.31% ($P < 0.05$)。就碱解氮含量而言, 农地、茶园、果园不同层次土壤均较 CK 高, 0 ~ 10 cm 土层分别比 CK 高 25.29%、15.90%、19.57% ($P < 0.05$), 农地、果园 10 ~ 20 cm 和 20 ~ 40 cm 土层土壤碱解氮比 CK 高 117.65%、67.06% 和 142.33%、114.01% ($P < 0.05$)。有效磷和碱解氮含量表现出一致趋势。

表 1 不同土地利用方式下土壤的基本理化性质

土层(cm)	土地利用方式	pH	容重(g/cm ³)	碱解氮(mg/kg)	有效磷(mg/kg)
0 ~ 10	CK	5.13 ± 0.22 a	1.26 ± 0.03 a	96.50 ± 2.77 b	4.39 ± 0.31 c
	农地	4.79 ± 0.06 b	1.10 ± 0.01 c	120.90 ± 1.42 a	46.35 ± 3.36 a
	茶园	4.57 ± 0.09 b	1.18 ± 0.05 b	111.84 ± 6.70 a	21.44 ± 6.11 b
	果园	5.11 ± 0.10 a	1.20 ± 0.01 b	115.38 ± 6.61 a	41.53 ± 10.04 a
10 ~ 20	CK	5.35 ± 0.03 a	1.29 ± 0.04 a	42.64 ± 15.22 c	4.60 ± 1.23 c
	农地	4.89 ± 0.13 b	1.16 ± 0.01 c	92.81 ± 18.14 a	39.72 ± 7.99 a
	茶园	4.83 ± 0.09 b	1.22 ± 0.01 b	46.15 ± 4.60 bc	9.75 ± 7.39 bc
	果园	4.98 ± 0.11 b	1.25 ± 0.02 b	71.24 ± 11.40 ab	20.07 ± 4.64 b
20 ~ 40	CK	6.06 ± 0.63 a	1.43 ± 0.02 a	27.59 ± 3.78 b	4.62 ± 1.43 b
	农地	5.26 ± 0.03 b	1.30 ± 0.02 c	66.86 ± 1.13 a	19.76 ± 10.11 a
	茶园	4.89 ± 0.37 b	1.38 ± 0.01 b	34.11 ± 7.58 b	6.49 ± 1.13 b
	果园	5.06 ± 0.19 b	1.38 ± 0.01 b	59.05 ± 3.80 a	18.73 ± 0.98 a

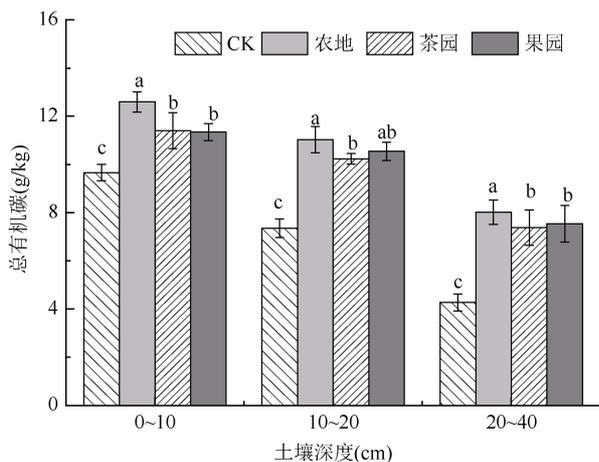
注: 表中同列不同小写字母表示同一土层不同土地利用方式间差异显著($P < 0.05$), 下同。

2.2 不同土地利用方式对土壤总有机碳分布的影响

由图 1 可以看出, 不同土地利用方式 0 ~ 40 cm

土层土壤的总有机碳存在显著差异($P < 0.05$), 在 0 ~ 10 cm 土层中, 农地、茶园、果园总有机碳分别比

CK 高 30.29%、17.94%、17.35%；在 10~20 cm 土层中，农地、茶园、果园总有机碳分别比 CK 高 50.10%、39.28%、43.49%；在 20~40 cm 土层中，农地、茶园、果园总有机碳分别比 CK 高 87.75%、72.74%、76.57%。从图 1 还可以看出，同一土地利用方式土壤总有机碳含量随土层加深而降低，且 CK 降低幅度最高，如 CK 在 20~40 cm 土层土壤总有机碳仅为 0~10 cm 土层的 44.19%，农地、茶园、果园则分别高达 63.68%、64.72%、66.48% ($P < 0.05$)。土壤有机碳的提高可能是耕层培肥措施等起主导作用，如有机肥的使用、秸秆还田、果园套种绿肥等^[19-20]，造成土壤中总有机碳含量显著提高。在耕层培肥的同时，配套翻耕和轮作等方式也有可能提升土壤剖面总有机碳含量，这也是农用地对土壤总有机碳含量提升效果较桔园和茶园好的原因所在；另外，地上部分的植被类型也在一定程度上决定了有机物质的输入量，从而影响到土壤中有机碳的含量。



(图中不同小写字母表示同一土层不同土地利用方式间差异在 $P < 0.05$ 水平显著，下同)

图 1 不同土地利用方式下土壤总有机碳分布特征

2.3 不同土地利用方式对土壤活性有机碳分布的影响

不同土地利用方式下不同层次土壤活性有机碳含量差异明显(图 2)，均表现为农地、茶园、果园显著高于 CK，其中，0~10 cm 土层土壤活性有机碳含量分别比 CK 高 54.35%、37.40%、33.65%，10~20 cm 土层分别比 CK 高 62.27%、46.03%、36.15%，20~40 cm 土层分别比 CK 高 61.61%、59.91%、53.97%。同时，从图 2 还可以看出，农地 0~20 cm 土层土壤活性有机碳含量显著高于茶园和果园，20~40 cm 土层土壤活性有机碳含量则相当；农地 0~10 cm 土层土壤活性有机碳含量比茶园和果园分别高 10.98% 和

13.41%，10~20 cm 土层分别高 10.01% 和 16.09%。原因可能是人为因素及植被类型影响着土壤中总有机碳含量，而总有机碳含量的高低在很大程度上决定了活性有机碳的丰缺^[21]。同时，不同土地利用方式下土壤承接根系分泌物类型不同，因此形成的土壤碳库，特别是活性碳库会存在差别^[22]。另外，土壤活性有机碳与土壤中氮素含量关系密切^[23]，土壤中氮素随着土地利用方式发生改变而发生变化，对活性有机碳库产生一定程度的影响。对红壤旱地不同土地利用方式来说，土壤活性有机碳提升的具体原因有待于进一步研究。

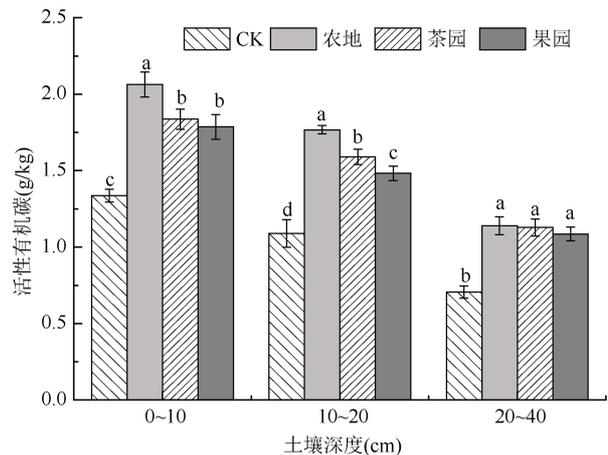


图 2 不同土地利用方式下土壤活性有机碳的分布特征

2.4 不同土地利用方式对土壤碳库管理指数的影响

将对照作为参照土壤，采用时空替代法，对不同土地利用方式下不同层次的碳库管理指数进行计算，结果见表 2。从表 2 中可以看出，在 0~10 cm 土层，不同土地利用方式的土壤碳库管理指数存在显著差异 ($P < 0.05$)，与 CK 相比，农地、茶园、果园利用方式下的土壤碳库管理指数分别提高 59.37%、41.32%、36.69%，且农地土壤碳库管理指数显著高于茶园和果园 ($P < 0.05$)；在 10~20 cm 土层，尽管农地、茶园和果园的土壤碳库管理指数显著高于未开垦红壤旱地 ($P < 0.05$)，但农地和茶园、茶园和果园的土壤碳库管理指数没有明显差异 ($P > 0.05$)，而农地土壤碳库管理指数则比果园的土壤碳库管理指数高 22.31%，达到显著差异 ($P < 0.05$)；在 20~40 cm 土层，农地、茶园、果园的土壤碳库管理指数则无明显差异 ($P > 0.05$)，这说明从提高土壤碳库管理角度考虑红壤旱地有机质提升时，需要考虑耕作深度这一影响因素，这也在一定程度上为红壤旱地合理耕层构建研究提供了依据。

表 2 不同土地利用方式下各土层的土壤碳库管理指数

土层(cm)	土地利用方式	碳库指数 CPI	碳库活度 A	碳库活度指数 AI	碳库管理指数 CPMI(%)
0~10	CK	1.00 ± 0.00 c	0.16 ± 0.01 b	1.00 ± 0.00 b	100.00 ± 0.00 c
	农地	1.30 ± 0.01 a	0.20 ± 0.01 a	1.22 ± 0.11 a	159.37 ± 13.10 a
	茶园	1.18 ± 0.07 b	0.19 ± 0.01 a	1.20 ± 0.13 a	141.32 ± 8.97 b
	果园	1.17 ± 0.01 b	0.19 ± 0.01 a	1.16 ± 0.04 a	136.69 ± 3.89 b
10~20	CK	1.00 ± 0.00 b	0.17 ± 0.01 ab	1.00 ± 0.00 ab	100.00 ± 0.00 c
	农地	1.50 ± 0.05 a	0.19 ± 0.02 a	1.10 ± 0.11 a	165.63 ± 17.00 a
	茶园	1.40 ± 0.10 a	0.18 ± 0.01 a	1.06 ± 0.01 ab	147.83 ± 10.48 ab
	果园	1.44 ± 0.06 a	0.16 ± 0.01 b	0.94 ± 0.06 b	135.42 ± 8.17 b
20~40	CK	1.00 ± 0.00 b	0.20 ± 0.02 a	1.00 ± 0.00 a	100.00 ± 0.00 b
	农地	1.88 ± 0.07 a	0.17 ± 0.01 a	0.84 ± 0.09 a	157.97 ± 19.32 a
	茶园	1.75 ± 0.33 a	0.18 ± 0.01 a	0.92 ± 0.17 a	157.76 ± 9.52 a
	果园	1.78 ± 0.34 a	0.17 ± 0.02 a	0.87 ± 0.22 a	151.01 ± 18.52 a

3 结论

1) 本次调查表明,与红壤荒地相比,农地、果园、茶园降低了 0~40 cm 土壤 pH 和容重,尤其是对 10 cm 以下土壤 pH 和容重有显著影响,分别降低了 6.94%~19.27% 和 3.58%~13.13%;土壤碱解氮含量提高 15.90%~142.33%,有效磷含量和碱解氮表现趋势一致。

2) 红壤旱地不同土地利用方式下各土层土壤总有机碳、活性有机碳含量随土层加深而降低,均表现为农地>果园~茶园>未开垦的红壤荒地,相比于未开垦的红壤荒地,其他 3 种土地利用方式下土壤总有机碳含量提高了 17.35%~87.75%,活性有机碳含量提高了 33.65%~62.27%。

3) 红壤旱地开垦利用能显著提高土壤碳库管理指数,在选取的 3 种不同利用方式下,土壤碳库管理指数在 0~10 cm 土层差异显著,表现为农地>果园~茶园;在 0~20 cm 土层表现为农地与茶园相当,与果园有显著差异;在 20~40 cm 土层 3 种不同土地利用方式无明显差异。

参考文献:

[1] 张桃林, 鲁如坤, 季国亮. 中国红壤退化机制与防治[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999

[2] 孙波, 张桃林, 赵其国. 我国东南丘陵山区土壤肥力的综合评价[J]. 土壤学报, 1995, 32(4): 362-369

[3] 王明珠, 石华. 江西省土壤资源的开发策略[C]//红壤生态系统研究. 北京: 科学出版社, 1992: 22-26

[4] 徐明岗, 于荣, 王伯仁. 土壤活性有机质的研究进展[J]. 土壤肥料, 2000(6): 3-7

[5] 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]. Crop and Pasture Science, 1995, 46(7): 1459-1466

[6] Janzen H H, Campbell C A, Brandt S A, et al. Light fraction organic matter in soils from long-term crop rotations[J]. Soil Science Society of America Journal, 1994, 58: 751-758

[7] 柳敏, 宇万太, 姜子绍, 等. 土壤活性有机碳[J]. 生态学杂志, 2006, 25(11): 1412-1414

[8] 周程爱, 张于光, 肖焯, 等. 土地利用变化对川西米亚罗林土壤活性碳库的影响[J]. 生态学报, 2009, 29(8): 4542-4547

[9] Lefroy R D, Blair C, Strong W M. Changes in soil organic matter with cropping as measured by organic carbon fractions from ^{13}C natural isotope abundance[J]. Plant and Soil, 1993, 155: 399-402

[10] Patra D D, Chand S, Anwar M. Seasonal changes in microbial biomass in soils cropped with palmarosa (*Cymbopogon martinii* L.) and Japanese mint (*Mentha arvensis* L.) in subtropical India[J]. Biology and Fertility of Soils, 1995, 19(2): 193-196

[11] Jenkinson D S, Rayner J H. The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted classical experiments[J]. Soil Science, 1977, 123(5): 298-305

[12] Blair G J, Lefroy R D, 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: 1459-1466

[13] 沈宏, 曹志洪, 徐志红. 施肥对土壤不同碳形态及碳库管理指数的影响[J]. 土壤学报, 2000, 37(2): 166-173

[14] 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

- [15] 吕瑞珍, 熊瑛, 李友军, 等. 保护性耕作对农田土壤碳库特性的影响[J]. 水土保持学报, 2014, 28(4): 206–210
- [16] 邱莉萍, 张兴昌, 程积民. 土地利用方式对土壤有机质及其碳库管理指数的影响[J]. 中国环境科学, 2009, 29(1): 84–89.
- [17] 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, 1999
- [18] 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]. Crop and Pasture Science, 1995, 46(7): 1459–1466
- [19] 徐蒋来, 胡乃娟, 张政文, 等. 连续秸秆还田对稻麦轮作农田土壤养分及碳库的影响[J]. 土壤, 2016, 48(1): 1–5
- [20] 赵金花, 张丛志, 张佳宝. 激发式秸秆深还对土壤养分和冬小麦产量的影响[J]. 土壤学报, 2016, 53(2): 438–449
- [21] 杜满义, 范少辉, 漆良华, 等. 不同类型毛竹林土壤活性有机碳[J]. 生态学杂志, 2013, 32(3): 571–576
- [22] 郭宝华, 范少辉, 杜满义, 等. 土地利用方式对土壤活性碳库和碳库管理指数的影响[J]. 生态学杂志, 2014, 33(3): 723–728
- [23] 涂利华, 胡庭兴, 张健, 等. 模拟氮沉降对华西雨屏区慈竹林土壤活性有机碳库和根生物量的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(9): 2286–2294

Effects of Land Uses on Carbon Pool Management Index of Red Soil in Jiangxi

WU Lin¹, HUANG Shangshu¹, YE Chuan^{1*}, ZHONG Yijun¹, HUANG Qianru¹, CHENG Yanhong¹, ZHENG Wei², SUN Yongming¹, GAO Rui¹, ZHOU Ying¹

(1 Red Soil Institute of Jiangxi Province, Nanchang 331717, China; 2 Agricultural Bureau of Ji'an City, Ji'an, Jiangxi 343000, China)

Abstract: Soil carbon management index is a comprehensive index to characterize the accumulation and quality of soil organic carbon. In this paper, four land use types of red soil including farmland, tea garden, orchard and uncultivated land were selected, and the distribution of total organic carbon and active organic carbon as well as soil carbon pool management index(CPMI) of 0–40 cm layer were measured and calculated in order to explore the technical indexes of rational plow layer construction. The results showed that: 1) Total soil organic carbon and active organic carbon under different land use types were in the order of farmland> orchard > tea garden> uncultivated land, compared with uncultivated land, soil organic carbon and active organic carbon were significantly increased in the other three land use types ($P<0.05$). 2) Reclamation and dryland utilization of red soil could significantly improve soil CPMI ($P<0.05$), but CPMI was significantly different ($P<0.05$) in 0–10 cm layer in an order of farmland> orchard > garden ($P<0.05$); in 0–20 cm layer, CPMIs of farmland and tea garden were similar ($P>0.05$), but both significant different from that of orchard ($P<0.05$); in 20–40 cm layer, no significant difference existed in the three different land uses ($P>0.05$). Therefore, reclamation of red soil can improve soil carbon pool management, and the effect of farmland is better than those of orchard and tea garden.

Key words: Dryland of red soil; Land use; Soil organic carbon; Carbon pool management index