

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3142.2014.06.010

陈进斌,周嘉聪,林勇. 生物炭添加对土壤呼吸和有机碳含量的影响[J]. 广西植物,2014,34(6):788—792

Chen JB,Zhou JC,Lin Y. Effects of biochar application on soil respiration and soil organic carbon[J]. *Guihaia*,2014,34(6):788—792

生物炭添加对土壤呼吸和有机碳含量的影响

陈进斌*, 周嘉聪, 林勇

(福建师范大学地理科学学院, 福州 350007)

摘要:以菜地和果园土壤为研究对象,通过室内培养实验,向土壤中分别添加不同材料制备的生物炭(马尼拉草、阔叶和竹叶),热解温度为 350 °C,研究不同材料制备生物炭添加对土壤呼吸和有机碳含量的影响。结果表明:不同生物炭施入土壤后,土壤 CO₂ 释放速率总的趋势是前期分解速率快,后期缓慢。在整个培养过程中(28 d),随着培养时间的延长,土壤 CO₂ 释放速率下降趋势逐渐降低。在不同土壤培养条件下,均是添加阔叶生物炭后土壤 CO₂-C 累计释放增多,果园和菜地土壤 CO₂-C 累计分别达到 482.57 和 424.72 mg·kg⁻¹。添加不同的生物炭均能提高土壤有机碳含量,但只有添加阔叶生物炭之后,差异才会达到显著(P<0.05)。研究结果为正确利用生物炭和评价其在土壤碳库作用提供科学依据。

关键词:生物炭;土壤有机碳;土壤呼吸;土壤 pH

中图分类号: Q945.13; S153 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2014)06-0788-05

Effects of biochar application on soil respiration and soil organic carbon

CHEN Jin-Bin*, ZHOU Jia-Cong, LIN Yong

(College of Geographical Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

Abstract: In order to study the effects of different biochar materials on soil respiration and soil organic carbon (SOC), we selected different biochar materials, which were produced by charring the grass, broad leaf and bamboo leaf under the temperature of 350 °C. Biochar was mixed with two soils (garden soil and orchard soil) separately, and incubated for 28 d at 25 °C. The results indicated that the soil CO₂ emission rate in different treatments was quicker at the early stage of incubation, and became slower in the later phase. Under the same temperature condition, the accumulation amounts of soil CO₂-C were increased by biochar application. The accumulation amounts of soil CO₂-C were increased to 482.57 mg·kg⁻¹ and 424.72 mg·kg⁻¹ in orchard soil and garden soil. SOC and pH were also increased due to biochar application. However, a significant difference was only found with broad leaf biochar application. These findings would be helpful to understand the role of biochar in soil carbon cycle.

Key words: biochar; soil organic carbon; soil respiration; soil pH

生物炭(biochar)是由生物质和化石燃料等在缺氧情况下,经过高温慢热解下形成的物质。该类物质具有难熔性、稳定性、高度芳香化、富含碳素等

特性(Marris, 2006; Lehmann *et al.*, 2009; Chun *et al.*, 2004; Gaunt *et al.*, 2008)。通常认为生物炭属于黑碳(Black carbon)范畴内的一种,其来源十分广

收稿日期: 2013-10-27 修回日期: 2013-12-13

基金项目: 国家自然科学基金(J1210067); 福建师范大学大学生创新创业训练计划项目(cxsl-2012128)。

作者简介: 陈进斌(1991-),男,福建莆田人,(E-mail)ronbinchen@163.com。

*通讯作者

泛,是土壤有机惰性碳的组成部分。根据生物质材料的来源,可以分为以植物或其他有机物为主,在低氧或无氧环境下高温形成的含碳物质如木炭、竹炭、秸秆炭、稻壳炭、动物粪便炭等(Keiluweit *et al.*, 2010;李允超等,2012;花莉等,2010)。生物炭还可来源于化石燃料产物或地球成因形成的碳,包括轻质的焦炭、高密度抗分解的化石燃料烟灰等(窦森等,2012)。目前对于生物炭的研究集中于以下方面:(1)土壤性质的改良:生物炭添加可增加土壤碳量,改良土壤性质、促进土壤团聚体的形成、增加土壤养分,对土壤微生物生态具有调控作用,促进植物生长(Chan *et al.*, 2007;Kolb *et al.*, 2009)。(2)温室效应减缓。生物炭的难降解,使得土壤碳库固碳潜力巨大(Lehmann, 2007);生物炭的添加可以减少 N_2O 、 CH_4 等温室气体的排放,有效减缓温室效应(颜永毫等,2013);在全球变化领域应用前景广阔。(3)环境修复:生物炭在降低重金属和有机污染物生物有效性方面作用明显(Cornelissen *et al.*, 2005;周建斌等,2008;安增莉,2011)。因此,生物炭研究逐渐成为国际研究的焦点。

土壤的呼吸会受到多种因素的影响,诸如水分、温度以及外加碳源(杨金艳等,2006;Hamer *et al.*, 2002)。土壤呼吸也会受生物因子的影响(杨清培等,2004)。土壤呼吸在一定程度上反应土壤的状况,呼吸增加,有机质分解加快;呼吸减弱,有机质分解减缓。生物炭的添加能引起土壤进程发生改变,进而影响到土壤各个方面性质的变异。目前,在土壤环境的评价中,对生物炭的研究较为局限,集中于农作物的研究(花莉等,2010)。对于不同材料制备的生物炭研究也存在不足。为此,本研究利用 3 种生物质(马尼拉草、阔叶和竹叶)在 $350\text{ }^\circ\text{C}$ 下制备生物炭,通过室内培养研究了添加生物炭对土壤呼吸和有机碳含量的影响,以期评价生物炭在土壤碳库的作用。

1 材料与方 法

1.1 生物炭制备

生物炭的制备参照刘燕萍等(2011)的方法。生物质为马尼拉草、阔叶和竹叶。将生物质洗净置于烘箱中,在 $60\text{ }^\circ\text{C}$ 烘箱中烘至恒重,冷却后,准确称取 2.50 g 生物质于坩埚中,用坩埚盖盖好放入马弗炉中,关闭炉门,达到预设的温度时开始计时燃烧 2

h ,之后打开炉门,将坩埚移至炉口处冷却至 $200\text{ }^\circ\text{C}$ 左右,移入干燥器中冷却至室温,准确称重。燃烧温度为 $350\text{ }^\circ\text{C}$,每处理重复 15 次,样品制备完毕,过 0.25 mm 筛备用。

1.2 供试土壤

供试土壤采自福建师范大学旗山校区校园内,土壤采自菜地和果园,其中菜地土壤有机碳为 $8.08\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、pH 值 6.02 ;果园土壤有机碳为 $13.66\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、pH 值 5.39 ,将采集的土壤样品去除植物残体,过 2 mm 筛备用。

1.3 室内培养

选择 $350\text{ }^\circ\text{C}$ 温度制备生物炭进行培养,以不加生物炭的土壤作为对照、向土壤中分别加入不同生物质制备的生物炭,实验处理分别为(1)CKC(菜地土壤);(2)ZC(竹叶炭+菜地土壤);(3)CC(草炭+菜地土壤);(4)KC(阔叶炭+菜地土壤);(5)CKL(果园土壤);(6)CL(草炭+果园土壤);(7)KL(阔叶炭+果园土壤);(8)ZL(竹叶炭+果园土壤)。每个处理重复 4 次,并另设不加供试样品的空白处理 3 个(培养瓶中不加土壤也不加生物炭,只是加碱液和蒸馏水)。具体步骤如下:将生物炭与土样(相当于烘干土 50 g)混合均匀,添加量为 1 g ,装入小培养瓶中,放置于 1 L 的培养瓶中培养,同时放置盛有 $10\text{ mL } 0.5\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{ NaOH}$ 溶液的小瓶和装有蒸馏水的小瓶子各 1 个,塞紧胶塞,放入 $25\text{ }^\circ\text{C}$ 的培养箱中培养 28 d 。在培养的第 3 、 7 、 14 、 21 、 28 天更换装有碱液的小瓶,培养过程中定期补充水分,保持土壤质量含水量为 25% 。

1.4 土壤释放 CO_2 量的测定

在培养的第 3 、 7 、 14 、 21 、 28 天取出装有碱液的小瓶,加入过量的 BaCl_2 溶液和 $2\sim 3$ 滴酚酞指示剂,再用 HCl 滴定至终点。通过下列公式计算土壤释放的 CO_2 量:

$$\text{CO}_2(\text{mg}) = 1/2(V_2 - V_1) \times N \times 44$$

式中, V_1 为滴定处理过的样品中 NaOH 溶液所用的 HCl 溶液的体积(mL); V_2 为滴定空白实验中 NaOH 溶液所用的 HCl 溶液体积(mL); N 为 HCl 溶液的物质的量($\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$); 44 为 CO_2 摩尔质量($\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$)

1.5 数据分析

采用 Excel 和 SPSS 17.0 软件进行数据处理分析和制图操作。

2 结果与分析

2.1 不同生物质下生物炭的产率

由图1可知,3种生物质在350℃下热解得到的炭产量在30%~42%之间。马尼拉草热解得到的炭产量最低,为31.9%;竹叶热解得到的炭产量最高,为41.2%。这些生物质炭产量的差异源于它们结构的不同。竹叶的灰分含量相对于马尼拉草而言

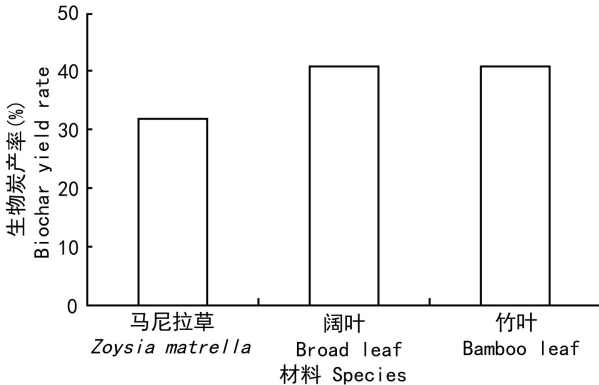


图1 不同生物质制备生物炭的产率

Fig. 1 Production rates of different materials

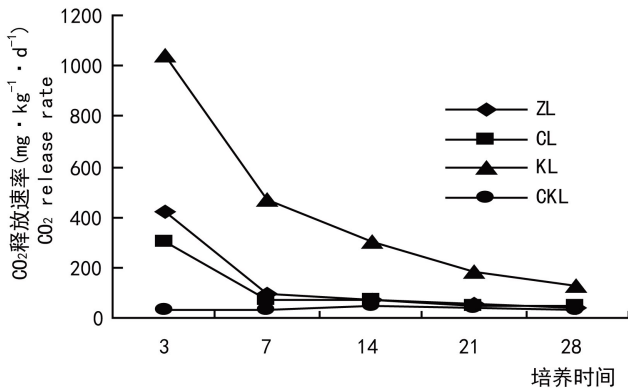


图2 不同处理土壤CO₂动态变化

Fig. 2 Dynamics of CO₂ release rates under different treatments

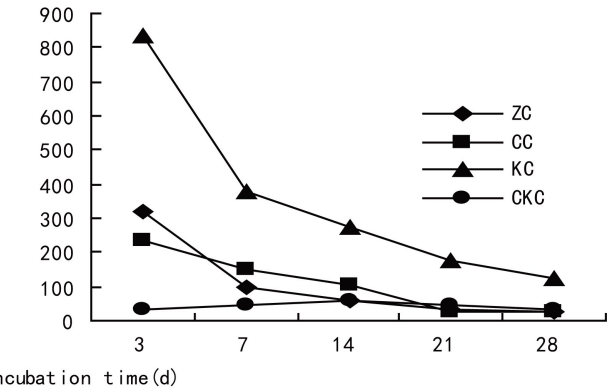
间存在极显著差异($P < 0.01$)。

培养的开始阶段(0~3 d),土壤CO₂释放速率为KC>ZC>CC>CKC,但在7 d时发现ZC组土壤CO₂释放速率有较大回落,使得CO₂释放速率变为KC>CC>ZC>CKC。培养开始阶段,ZC组和CC组与CKC组差异极显著($P < 0.01$),后期虽然ZC组和CC组的CO₂释放速率有差异,但未达到显著性水平($P > 0.05$)。

较高,其炭产量也随着增多,引起炭产量差异的可能因素在于不同生物质灰分含量的差别。

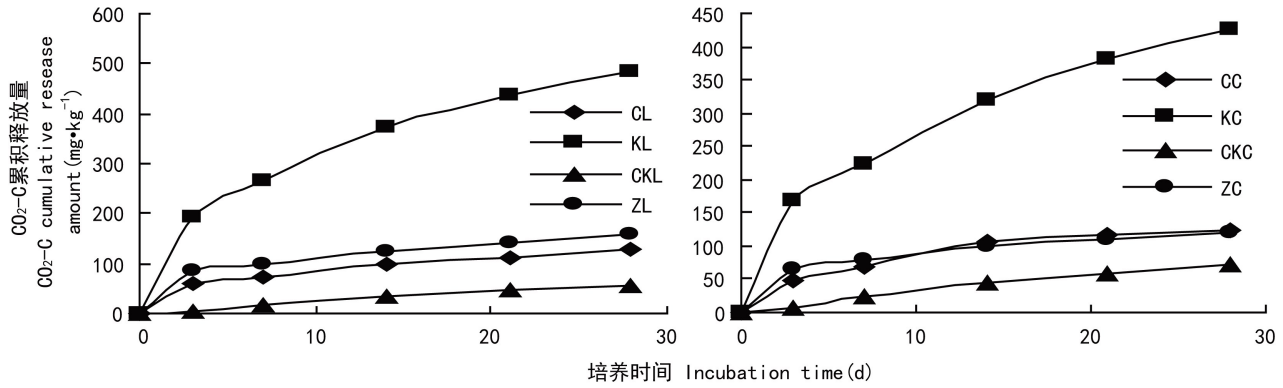
2.2 不同处理对土壤CO₂动态变化的影响

土壤CO₂动态是指单位干土每天矿化的CO₂数量,以每千克干土每天释放的CO₂毫克数表示。在25℃培养下,不同处理的土壤CO₂动态变化不同,但总的趋势是前期速率较快,后期缓慢,土壤释放CO₂速率先增高,后迅速降低,变化幅度大(图2),其中对照组中,菜地土与果园土的土壤释放CO₂速率均在第14天达到最大,而添加生物炭土壤CO₂释放速率均在第3天达到最大。这与刘燕萍等(2011)的研究结果一致。对于果园土来说,在培养初期(0~14 d),不同处理的土壤CO₂释放速率均为KL>CL>ZL>CKL,但在21 d后CL处理土壤CO₂释放速率反而比ZL处理的小。且整个培养过程KL组处理土壤CO₂释放速率与其他处理间存在极显著差异($P < 0.01$)。培养开始阶段(0~3 d),CL组和ZL组处理土壤CO₂释放速率极显著地高于对照组($P < 0.01$),后期则是CL组和ZL组处理土壤CO₂释放速率与对照组差异不显著($P > 0.05$)。至于菜地土壤而言,与果园土壤类似,整个培养过程中KC处理土壤CO₂释放速率与其他处理



2.3 不同处理对土壤CO₂-C累积变化的影响

土壤有机碳分解释放的CO₂-C量是在一定时间内,土壤有机碳分解为无机碳后所释放的CO₂数量(以释放mgCO₂-C·kg⁻¹干土计算),它是土壤有机碳矿化速率的表征之一。从图3可知,在相同温度条件下,不同土壤处理组均在培养开始阶段(0~3 d),其土壤有机碳分解所释放的CO₂-C的速率均达到最大,其中加阔叶炭处理的土壤CO₂-C变化强度

图 3 不同处理条件下土壤 CO₂-C 累积释放量Fig. 3 Cumulative amounts of CO₂-C in different treatments

大,但随着培养时间的延长,释放速率渐渐趋于平稳。果园土壤条件下,土壤有机碳分解释放 CO₂-C 的累积量随着培养时间的延长其变化趋势为 KL>ZL>CL>CKL;菜地土壤条件下,其变化趋势前期(0~14 d)为 KC>ZC>CC>CKC,后期变化趋势则为 KC>CC>ZC>CKC。在果园土壤条件下,KL、ZL、CL 土壤有机碳分解释放的 CO₂-C 累计量分别为对照组的 8.4、2.7、2.2 倍;而在菜地土壤条件下,KC、ZC、CCL 土壤有机碳分解释放的 CO₂-C 累计量分别为对照组的 6.0、1.7、1.7 倍,说明不同生物炭的添加对有机碳分解的影响不同,阔叶炭较草炭和竹炭能明显地增强土壤微生物的活性,提高了土壤呼吸强度,对土壤有机碳的分解影响较明显。

2.4 不同处理对土壤有机碳和 pH 的影响

由表 1 可知,添加不同生物炭对土壤 pH 的改良效果不同。菜地土壤 pH 值变化依次为 KC>ZC>CC>CKC;果园土壤 pH 值变化依次为 KL>ZL>CL>CKL,其中以阔叶炭增加土壤 pH 的效果最为显著($P<0.05$),其他类型生物炭的添加,对土壤 pH 有差异,但未达到显著水平($P>0.05$)。

生物炭的添加也能显著的提高土壤有机碳的含量。果园土壤条件下,KC、ZC、CC 相对于对照组有机碳含量分别增加了 1.6、2.2 倍;菜地土壤条件下,KL、ZL、CL 相对于对照组有机碳含量分别增加了 1.4、1.5、1.6 倍,但添加生物炭组分之间土壤有机碳含量的增加差异不显著($P>0.05$)。

3 讨论与结论

生物炭的形成与生物质来源、火烧的温度以及

表 1 不同处理条件下土壤 pH 和有机碳变化

Table 1 Changes of soil pH and organic carbon in different treatments

土壤 Soil	处理 Treatment	pH	有机碳 Organic carbon (mg·kg ⁻¹)
菜地土壤 Garden soil	KC	8.11±0.03a	13.61±0.10a
	ZC	6.22±0.16b	16.26±0.17a
	CC	6.12±0.17b	16.79±0.40a
	CKC	6.02±0.21b	8.08±0.10b
果园土壤 Orchard soil	ZL	5.64±0.40b	20.13±0.14a
	CL	5.44±0.08b	21.21±0.05a
	CKL	5.39±0.52b	13.66±0.13b

注:同一列统计数字后英文字母不同表示差异显著($P<0.05$),数据表示方式为平均值±标准差。

Note: Means±Standard Deviation followed by different letters in the same column indicate significant differences at 0.05 level.

燃烧的时间有关。本研究表明,在相同的温度条件下,不同类型的生物质所生成生物炭产量受到生物质自身性质的影响。谭洪等(2009)以红胡桃、金丝柚、油菜籽、芸香木、稻壳和稻壳糠为研究对象,发现在 400 °C 热解条件下,这 6 种物质的炭产量在 20%~30% 之间,且农作物炭的产量高于木材炭。

由于生物炭较稳定的性质使其成为全球 C 循环中的一个重要碳汇。生物炭输入到土壤环境中会快速提升土壤稳定性碳库和减少 CH₄、N_xO 等温室气体的排放(Lehmann *et al.*, 2006)。Laird *et al.* (2010)在相同施肥条件下,向土壤添加不同量的生物炭,发现土壤有机碳含量随生物炭添加量的增加而增加。本研究表明,3 种不同生物炭添加到土壤中,土壤有机碳的含量总能显著的提高。这是由于生物炭本身难分解的特性引起的结果。Kuzyakov *et al.* (2009)研究也证实这一点。此外生物炭含有一定的碱性物质使其能对酸性土壤进行改良,本

研究中,阔叶炭显著提升土壤的pH值,而草炭和竹炭差异不显著,引起差异的原因在于不同生物质所含碱基的差异,在高温条件下,这些碱基被富集浓缩使得生物炭呈现碱性(袁金华等,2011)。

本研究表明,将3种不同类型的生物炭添加到土壤中,土壤CO₂释放速率总的趋势是前期速率较快,后期缓慢,可能原因在于前期的土壤有机质在矿化分解过程以分解较容易的有机质为主,随着时间推移,土壤中易分解的有机质含量在逐渐下降,微生物开始分解土壤中难分解的有机质组分,分解速率降低,并趋于平稳。易分解的土壤有机质在培养前期(0~7 d)为微生物提供丰富的养分,使CO₂释放速率很快达到高峰。陈吉等(2009)和吴建国(2007)等也发现类似的趋势。阔叶炭在促进土壤有机质分解能力较草炭和竹炭强,可利用这个特点来进行生物炭的施用。由于本研究只是短期室内研究,对于生物炭的长期效应不太明确,而且野外综合因素也未给予考虑,需要今后实验中继续给予验证。

致谢 感谢尹云锋老师对本项目的全程指导以及杨红玉老师在实验过程中给予的指导。

参考文献:

An ZL(安增莉), Fang QS(方青松), Hou WY(侯艳伟). 2011. Effects on transfer behavior of soil pollutants from input of biochar(生物炭输入对土壤污染物迁移行为的影响)[J]. *Environ Sci Surv(环境科学导刊)*, **30**(3):7-10

Chan KY, Van Zwieten L, Meszaros L, et al. 2007. Agronomic values of green waste biochar as soil amendment[J]. *Austr J Soil Res*, **45**:629-634

Chen J(陈吉), Zhao BX(赵炳梓), Zhang JB(张佳宝), et al. 2009. Research on process of fluvo-aque soil organic carbon mineralization in initial stage of maize growth under long-term different fertilization(长期施肥潮土在玉米季施肥初期的有机碳矿化过程研究)[J]. *Acta Pedol Sin(土壤)*, **41**(5):719-725

Chun Y, Sheng GY, Chiou CT, et al. 2004. Compositions and sorptive properties of crop residue-derived chars[J]. *Environ Sci Technol*, **38**(17):4 649-4 655

Cornelissen G, Gustafsson Ö, Bucheli TD, et al. 2005. Extensive sorption of organic compounds to black carbon, coal, and krogen in sediments and soils; mechanisms and consequences for distribution, bioaccumulation, and biodegradation[J]. *Environ Sci Technol*, **39**(18):6 881-6 895

Dou S(窦森), Zhou GY(周桂玉), Yang YX(杨翔宇), et al. 2012. Biochar and its relation to humus carbon in soil: a short review(生物炭及其与土壤腐殖质的关系)[J]. *Soils(土壤学报)*, **49**(4):796-802

Gaunt JL, Lehmann J. 2008. Energy balance and emissions associated with biochar sequestration and pyrolysis bioenergy production[J]. *Environ Sci Technol*, **42**(11):4 152-4158

Hamer U, Marschner B. 2002. Priming effects of sugars, amino acids, organic acids and catechol on the mineralization of lignin and peat[J]. *J Plant Nutr Soil Sci*, **165**(3):261-268

Hua L(花莉), Zhang C(张成), Ma HR(马宏瑞), et al. 2010.

Environmental benefit of biochar made by agricultural straw when applied to soil(秸秆生物质炭土地利用的环境效益研究)[J]. *Ecol Environ Sci(生态环境学报)*, **19**(10): 2 489-2 492

Keiluweit M, Nico PS, Johnson MG, et al. 2010. Dynamic molecular structure of plant biomass-derived black carbon (biochar) [J]. *Environ Sci Technol*, **44**:1 247-1 253

Kuzyakov Y, Subbotina I, Chen HQ, et al. 2009. Black carbon decomposition and incorporation into soil microbial biomass stimulated by ¹⁴C labeling[J]. *Soil Biol Biochem*, **41**:210-219

Kolb SE, Fermanich KJ, Dornbush ME. 2009. Effect of charcoal quantity on microbial biomass and activity in temperate soils[J]. *Soil Biol Biochem*, **73**:1 173-1 181

Laird DA, Fleming P, Davis DD. 2010. Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil [J]. *Geoderma*, **158**:443-449

Lehmann J, Gaunt J, Rondon M. 2006. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems, a review[J]. *Mitig Adapt Strat Glob Chang*, **11**(4):403-427

Lehmann J, Joseph S. 2009. Biochar for Environmental Management: Science and Technology [M]. London: Earthscan, **1-29**: 107-157

Lehmann J. 2007. A handful of carbon[J]. *Nature*:443

Li XC(李允超), Wang XH(王贤华), Yang HP(杨海平), et al. 2012. Surface structure of bamboo charcoal and its adsorption property on furfural(竹炭表面结构对其糠醛的吸附特性)[J]. *Trans CSAE(农业工程学报)*, **28**(12):257-263

Liu YP(刘燕萍), Gao R(高人), Yang YS(杨玉盛), et al. 2011. Effect of black carbon addition on soil organic carbon mineralization(黑炭添加对土壤有机碳矿化的影响)[J]. *Soils(土壤)*, **43**(5):763-768

Marris E. 2006. Black is the new green[J]. *Nature*, **442**:624-626

Tan H(谭洪), Zhang L(张磊), Han YG(韩玉阁). 2009. Experimental research on the characterization of char product from biomass pyrolysis(不同种类生物质热解炭的特性实验研究)[J]. *Biom Chem Eng(生物质化学工程)*, **43**(5):31-34

Yan YH(颜永毫), Wang DD(王丹丹), Zheng JY(郑纪勇). 2013. Advances in effects of biochar on the soil N₂O and CH₄ emissions(生物炭对土壤N₂O和CH₄排放影响的研究进展)[J]. *Chin Agric Sci Bull(中国农学通报)*, **29**(8):140-146

Wu JG(吴建国), Ai L(艾丽), Chang W(裴伟). 2007. Soil organic carbon mineralization and its affecting factors under four typical vegetations in mid Qinlian Mountains(祁连山中部四种典型生态系统土壤有机碳矿化及其影响因素)[J]. *Chin J Ecol(生态学杂志)*, **26**(11):1 703-1 711

Yang JY(杨金艳), Wang CK(王传宽). 2006. Effects of soil temperature and moisture on soil surface CO₂ flux of forests in northeastern China(土壤水热条件对东北森林土壤表面CO₂通量的影响)[J]. *J Plant Ecol(植物生态学报)*, **30**(2):286-294

Yang QP(杨清培), Li MG(李鸣光), Wang BS(王伯荪). 2004. Study on soil respiration of lower subtropical successive forest communities(南亚热带森林群落演替过程中林下土壤呼吸特征)[J]. *Guihaia(广西植物)*, **24**(5):443-449

Yuan JH(袁金华), Xu RK(徐仁扣). 2011. Progress of the research on the properties of Biochars and their influence on soil environmental functions(生物质炭的性质及其对土壤环境功能影响的研究进展)[J]. *Ecol Environ Sci(生态环境学报)*, **20**(4):779-785

Zhou JB(周建斌), Deng CJ(邓丛静), Chen JL(陈金林), et al. 2008. Remediation effects of cotton stalk carbon on cadmium (Cd) contaminated(棉秆炭对镉污染土壤的修复效果)[J]. *Ecol Environ(生态环境)*, **17**(5):1 857-1 860