

# 施用柳枝稷茎和叶对土壤有机碳与微生物量碳的影响及其分解特征

李玉进<sup>1</sup>, 王百群<sup>1,2</sup>

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院水利部水土保持研究所 土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:**采用室内恒温(25℃)培养的方法,研究施用不同用量的柳枝稷茎、叶对土壤有机碳(SOC)和微生物量碳(MBC)的影响,柳枝稷茎、叶在土壤中分解特性。结果表明:柳枝稷茎、叶施入土壤培养 90 d 后,随着柳枝稷茎、叶施入量的增加,SOC 和 MBC 含量明显增加。在柳枝稷茎、叶施用量相同的条件下,施入柳枝稷叶后,土壤微生物量碳的含量高于施用茎的含量,而施用叶的土壤中有有机碳的含量低于施入茎的土壤有机碳的含量。柳枝稷茎、叶在土壤中的分解率具有一定的差异,且与施用量有关。在相同的柳枝稷茎、叶施用量条件下,叶在土壤中的分解率高于茎的分解率,表明了茎中的有机碳在土壤中周转期比叶中的长,说明施用柳枝稷的茎可以有效地促进土壤有机碳的累积。

**关键词:**柳枝稷; 土壤有机碳; 土壤微生物量碳; 分解率

中图分类号:S153.6<sup>+</sup>1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)05-0078-05

## Effect of Amendment of Leaf and Stem of Switchgrass(*Panicum virgatum*) on Soil Organic Carbon and Microbial Biomass Carbon as well as the Decomposition Characteristic of the Leaf and Stem

LI Yu-jin<sup>1</sup>, WANG Bai-qun<sup>1,2</sup>

(1. College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** An incubation experiment under the constant temperature of 25℃ was conducted to investigate the effect of amendment of leaf and stem of switchgrass (*Panicum virgatum*) on soil organic carbon (SOC) and microbial biomass carbon (MBC) and the decomposition characteristic of the leaf and stem at various amendment rates of switchgrass leaf and stem. The results showed that the contents of SOC and MBC increased with amendment rates of switchgrass leaf and stem after the incubation of 90 days. Under the same amendment rates of leaf and stem, the pools of soil MBC were larger in the treatments of leaf amendment than that in the treatments of stem amendment, whereas the contents of SOC were higher in the treatments of stem amendments than those in the treatments of leaf amendments. There was a certain discrepancy of decomposition rate between the leaf and stem. The decomposition rates of leaf and stem were determined by the amendment rates. Under the same amendment rates of leaf and stem, the decomposition rates of leaf were higher those of stem, indicating that turnover rate of organic of stem in the soil was longer that of the leaf, and the amendment of stem was conducive to accumulation of organic carbon in soil.

**Key words:** switchgrass; soil organic carbon; soil microbial biomass carbon; decomposition rate

收稿日期:2012-07-25

修回日期:2012-09-07

资助项目:中国科学院战略性先导科技专项“应对气候变化的碳收支认证及相关问题”(XDA05050504);国家自然科学基金项目(40301024);黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室自主课题(10502-T2)

作者简介:李玉进(1988—),男,山东菏泽人,硕士研究生,主要从事土壤生态研究。E-mail:sdlijy2008@126.com

通信作者:王百群(1968—),男,陕西渭南人,博士,副研究员,主要从事土壤有机碳氮循环研究。E-mail:bqwang@ms.iswc.ac.cn

土壤有机质对土壤的物理及生物化学性质具有重要的影响,在土壤有机质中,有机碳是其中的主要成分。土壤利用和管理方式对土壤有机碳的含量具有重要作用。土壤有机碳含量是评价土壤质量的重要指标之一<sup>[1]</sup>,它不仅影响土壤肥力,而且是土壤向大气释放 CO<sub>2</sub> 的来源,从而影响大气中 CO<sub>2</sub> 浓度的变化,对全球气候变暖具有一定的影响作用<sup>[2]</sup>,土壤有机碳的行为与土壤生产力及气候环境具有一定的关系。另一方面,通过将植物残体归还到土壤中或施用有机肥,可有效地增加土壤有机碳的含量。随着土壤利用和管理方式的变化,土壤有可能是大气中 CO<sub>2</sub> 的“源”或“汇”。因此,土壤在陆地生态系统有机碳循环中起着重要的作用,而且与全球变化密切相关。土壤有机碳库由具有不同生物化学特性的有机碳组分构成,其中微生物量碳作为土壤有机碳中最活跃的部分,与土壤有机质的分解、腐殖质的形成、养分转化和循环等过程有关,是更具敏感性的土壤质量指标<sup>[3]</sup>,土壤中微生物量碳可以明显地指示土壤有机碳库变化的趋势。作物秸秆还田是提高土壤有机碳的一项重要措施<sup>[4]</sup>,在一定区域农田中,得到了广泛的推广和应用。国内外学者研究了作物秸秆还田对土壤有机碳库及土壤养分的效应。刘巽浩等<sup>[5]</sup>研究表明,连续多年秸秆还田可逐步增加土壤有机质含量。英国洛桑试验站的研究表明,每年每公顷玉米秸秆的归还量为 7~8 t,经过 18 a 后,土壤有机质含量提高了 2.2%~2.4%<sup>[6]</sup>。秸秆直接还田可以有效地增加土壤中微生物可以利用的有机碳源,极大地刺激了土壤微生物的活动<sup>[7-8]</sup>,对土壤中微生物量的变化具有明显的驱动作用。

柳枝稷是一种多年生植物,属于 C<sub>4</sub> 植物,具有较高的光合效率,而且氮素和水分的利用效率高,生长迅速,生物量高,适应性强<sup>[9]</sup>,在一些适宜生长的区域到了广泛种植。柳枝稷对于碳的吸收效率是其他常规作物的 20~30 倍<sup>[10]</sup>。柳枝稷纤维素含量为 28%~37%,半纤维素含量为 25%~34%,木质素含量为 6%~9%<sup>[11]</sup>,是一种重要的能源植物。柳枝稷作为一种重要的有机物料资源,还可归还到土壤中。关于作物秸秆还田对土壤有机碳影响进行了大量的研究,取得了重要的进展,而有关将草本植物柳枝稷作为外源有机物添加到土壤中,对有机碳和微生物量碳影响的研究报道较少。

本文采用恒温条件下的室内培养试验,研究在施用不同量的柳枝稷茎、叶条件下,经过一定时段后,对土壤有机碳和微生物量碳的影响,为有效利用柳枝稷资源、促进土壤固碳和有机碳库构成变化提供依据,

研究结果对于合理利用植物有机物料和提高土壤质量具有重要的实践意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试土壤和植物样品的采集及性质

供试土壤取自陕西省安塞县墩滩川地农田的耕作层,采集的土层为 0—20 cm,土壤类型为黄绵土。土壤的有机碳含量为 6.62 g/kg,全氮含量为 0.61 g/kg。供试柳枝稷样品采集于安塞县墩滩川地的柳枝稷草地,采样时期为柳枝稷的生长后期。柳枝稷茎的有机碳含量为 47.56%,全氮含量为 0.493%;叶的有机碳含量为 45.36%,全氮含量为 0.650%。

### 1.2 试验设计

根据设计的施入土壤中柳枝稷茎、叶量,设置 7 个处理,(1) 对照处理中,土壤中不加入柳枝稷物料(CK);(2) 100 g 土壤中加入 5 g 茎物料(J1);(3) 100 g 土壤中加入 10 g 茎物料(J2);(4) 100 g 土壤中加入 15 g 茎物料(J3);(5) 100 g 土壤中加入 5 g 叶物料(Y1);(6) 100 g 土壤中加入 10 g 叶物料(Y2);(7) 100 g 土壤中加入 15 g 叶物料(Y3);每个处理设置 3 次重复。

### 1.3 恒温培养试验

将风干的供试土样过 2 mm 筛,将供试植物样柳枝稷的茎和叶分离并分别烘干,粉碎后,过 2 mm 筛。根据试验设计,称取 200 g 的风干土并加入相应量的柳枝稷茎、叶的量,将有机物料与土壤充分混匀后,放入培养盒中,然后加入蒸馏水,达到土壤田间持水量的 70%。将培养盒置于温度为 25℃、空气湿度为 65% 的恒温室中进行培养。在培养的过程中,每隔 2 d 根据重量法补充水分,以此保持土壤水分含量相对稳定。在培养 90 d 后,采集培养盒中的土样,测定土壤有机碳和土壤微生物量碳。

### 1.4 测定方法

利用烘干法测定土壤水分;采用氯仿熏蒸—K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 浸取法,测定土壤微生物量碳(MBC)<sup>[12]</sup>;按 Wu 等的方法计算土壤 MBC<sup>[13]</sup>。采用高锰酸钾—硫酸外加热法测定土壤有机碳(SOC),采用凯氏定氮法,测定土壤全氮含量<sup>[14]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 施用柳枝稷茎、叶对土壤微生物量碳的影响

在室内恒温培养 90 d 后,与 CK 相比,随着柳枝稷茎或叶含量的增加,土壤 MBC 含量均呈显著增加( $p < 0.01$ )趋势(图 1),其中 Y3 增幅最大,约为 CK 的 13.7 倍。由图 2 可知,在施入相同量的有机物料条件下,加

入叶物料的土壤微生物量碳含量明显高于加入茎的土壤的含量 ( $p < 0.01$ ), 表明柳枝稷的叶比茎更易于被微

生物利用, 即加入叶物料条件下, 土壤微生物活性更高, 更利于叶的分解和土壤微生物量碳的累积。

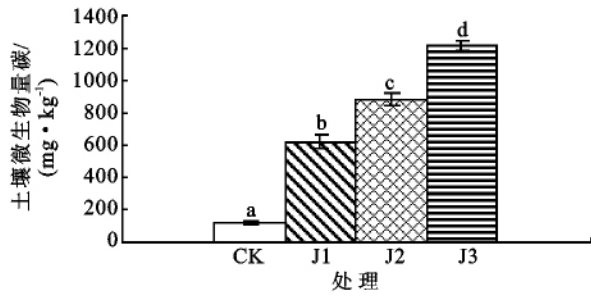


图 1 恒温条件下添加柳枝稷茎或叶对土壤微生物量碳含量的影响

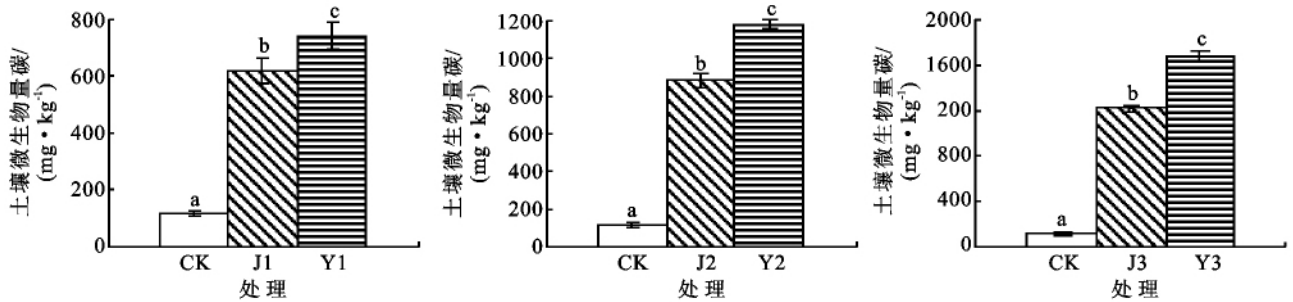


图 2 相同柳枝稷茎、叶施用量对土壤微生物量碳的影响

已有研究表明, 用 MBC 和 MBC/SOC 比值更能有效反映土壤质量的变化<sup>[12]</sup>。表 1 说明, MBC/SOC 的变化范围为 1.76%~4.02%。加入柳枝稷茎时, 随着柳枝稷茎含量的增加, MBC/SOC 比值呈下降趋势, 说明在本次试验条件下随着柳枝稷茎含量的增加, 提高土壤质量的作用逐渐减弱。随着柳枝稷叶含量的增加, MBC/SOC 比值先升后降。与 CK 相比, 在 Y2 处理下, MBC/SOC 最高; 而在 J2 处理中, MBC/SOC 最低, 可认为在 Y2 处理下对土壤质量的提高作用最强。

## 2.2 不同处理对土壤有机碳的影响

施用有机物料对土壤有机碳的含量具有一定的影响作用。图 3 可说明, 培养 90 d 后, 在施用不同量的柳枝稷茎或叶的条件下, 土壤 SOC 含量随有机物

料施用量的增加而明显提高 ( $p < 0.01$ ), 其中在 J3 处理下, SOC 含量最高, 为  $(56.19 \pm 2.15) \text{ g/kg}$ , 土壤中有机碳的含量提高幅度最大, Y1 处理下最低, 为  $(20.37 \pm 0.44) \text{ g/kg}$  (图 3)。

表 1 恒温培养条件下施用柳枝稷茎、叶对 SOC 和 MBC 比值的影响

处理	SOC/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	MBC/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	MBC/SOC/ %
CK	6.48	114.3	1.76
J1	21.62	620.4	3.01
J2	39.64	883.5	2.24
J3	56.19	1219.2	2.17
Y1	20.37	742.1	3.65
Y2	29.51	1182.2	4.42
Y3	47.02	1677.9	3.57

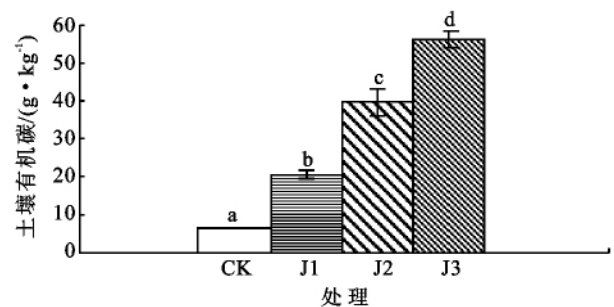
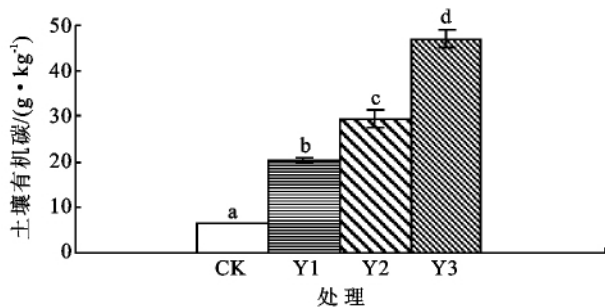


图 3 恒温条件下添加柳枝稷茎或叶对土壤有机碳含量的影响

由图 4 可以看出, 相同施用量条件下, 在施用的茎、叶量为 5% 时 (J1 和 Y1 处理), 土壤有机碳含量的

增加量没有明显的差别。而在其他处理中, 施用相同量的柳枝稷茎条件下, 土壤 SOC 的含量均表现为极

显著差异 ( $p < 0.01$ ), 施有茎物料的土壤有机碳含量高于施用叶的有机碳含量, 这说明当施用量  $> 5\%$  时,

加入柳枝稷茎物料要比叶更有利于土壤有机碳的累积。

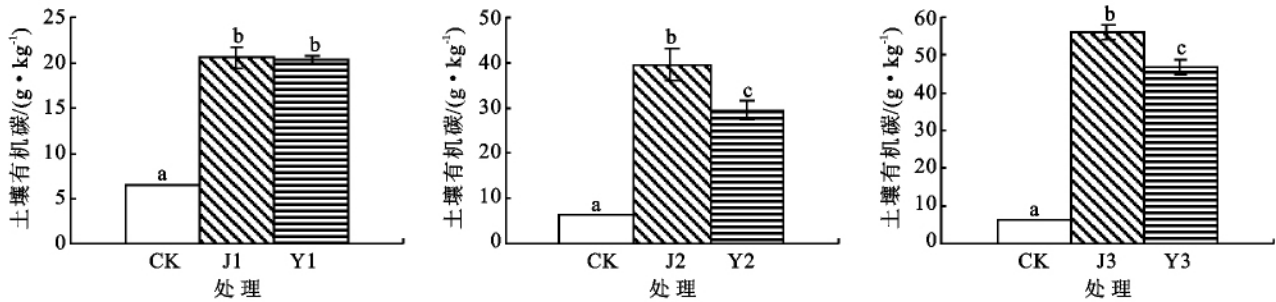


图4 相同配比下添加柳枝稷茎或叶对土壤有机碳含量的影响

### 2.3 柳枝稷茎或叶的分解率

有机物料在土壤中的分解过程与土壤水热条件、有机物的生物化学性质及用量有一定的关系。表2说明, 在培养90 d后, 柳枝稷茎、叶的分解率有一定的差别, 在相同的施用量条件下, 柳枝稷叶的分解率高于茎的分解率。一方面说明培养条件下柳枝稷叶较茎更易于分解, 另一方面说明柳枝稷叶有利于提高土壤微生物的活性, 对于土壤质量的提高作用较明显。同时, 也表明了柳枝稷的茎中有机碳比叶中的有机碳在土壤中的周转期长。通过分析茎、叶不同施用量下的分解率可以看出, 柳枝稷茎的分解率随施用量的增加呈现下降的趋势。而叶的分解率与施用量呈现抛物线关系, 随施用量的增加, 呈现先增加再下降的趋势。表明有机物料在土壤中的分解过程除受土壤水热条件影响外, 还与有机物的生物化学性质及其施用量有一定的关系。

表2 恒温培养下施用柳枝稷茎、叶的土壤中不同时期有机碳含量及茎、叶分解率

处理	初始含碳量/ (g·kg <sup>-1</sup> )	末期含碳量/ (g·kg <sup>-1</sup> )	分解率/%
CK	6.62	6.48	—
J1	30.40	21.62	36.33
J2	54.18	39.64	30.28
J3	77.96	56.19	30.31
Y1	29.30	20.37	38.76
Y2	51.98	29.51	49.23
Y3	74.66	47.02	40.42

## 3 讨论

在农业生态系统中, 土壤有机碳来源于作物残体分解后残留碳及人为施入的有机物料中的碳。影响土壤有机质分解量和生成量的主要因素是人们所采用的管理方式和措施, 包括土壤所处的温度、水分、地形、耕作措施、作物残体管理方式、施肥制度、轮作方式、灌溉制度等<sup>[15]</sup>。林心雄等<sup>[16]</sup>研究表明, 在其他

条件相同的情况下, 年平均气温、土壤水分状况、有机物质化学组成等对有机物质分解有明显影响。自然生态系统土壤有机碳库随温度增加呈指数下降<sup>[17]</sup>。吕国红等<sup>[18]</sup>研究表明, 土壤表层(0—20 cm)有机碳和全氮受年降水量、年平均气温的显著或极显著影响。在自然状态下, 温度和土壤含水量处于一种动态变化过程, 土壤的干湿交替引起微生物活性变化从而影响土壤有机碳库。本次试验设定在恒温、恒定土壤含水量条件下, 分析柳枝稷茎叶分解对土壤有机碳和微生物量碳的影响, 以避免自然状况下温度、土壤含水量的不确定性影响。同时, 在实践中应结合气候及土壤条件, 适当进行作物及其他植物残体的还田, 以保持作物的生长和增加土壤有机碳的累积。

本试验是一个短期的外源添加物室内控制试验, 排除了自然状况下土壤有机碳、微生物量碳含量受到耕作措施、施肥等的影响。试验中添加柳枝稷外源有机物质90 d后, 土壤有机碳含量极显著增加(图3), 这与刘巽浩等<sup>[5]</sup>多年秸秆还田可增加土壤有机质含量的结果一致。高会议等<sup>[19]</sup>利用长期田间试验, 研究了小麦产量、耕层有机碳的变化, 发现施肥措施对作物固碳和SOC影响存在显著差异, 施肥可提高SOC的积累, 且有机无机配施效果最佳。杜章留等<sup>[20]</sup>研究表明连续多年保护性耕作后, 保护性耕作(RT和NT)下SOC的层化比率(1.74~2.04)显著高于翻耕处理(CK和CT, 1.37~1.45), 保护性耕作显著提高了表层微生物碳、氮含量。所以在自然状态下, 添加外源有机物应注意配施化肥和采用保护性耕作措施, 以保持田间土壤有机碳和微生物量碳的长期稳定和维持土壤质量处于较高的水平。本次试验中加入柳枝稷茎或叶, 对土壤微生物量碳含量也极显著增加(图1), 说明有机肥料的施用一方面为微生物提供外来的碳源, 促进微生物的新陈代谢, 另一方面还能改善土壤的理化性状, 有利于土壤团聚体的形成, 加强了对微生物的保护<sup>[3]</sup>。

有机物在土壤中的分解过程,与土壤性质和环境条件密切相关,另外,有机物的生物化学构成、碳氮比等因素对有机物的分解具有一定的影响。在本试验中,由于柳枝稷的茎、叶的碳氮比不同,从而引起二者的分解率表现出差异性。柳枝稷叶的分解率高于茎的分解率,与施用柳枝稷叶后土壤微生物量碳的含量高于施用茎的含量是一致的。这表明有机物料生物化学特性与土壤微生物及有机物分率之间具有明显的互馈关系。

#### 4 结论

恒温条件下土壤中加入柳枝稷茎、叶培养 90 d 后,在不同柳枝稷茎、叶施用量条件下,随着柳枝稷茎或叶施用量的增加,土壤微生物量碳(MBC)含量均呈现显著增加趋势。在柳枝稷的茎和叶施用量相同条件下,加入叶物料后,土壤微生物量碳含量明显高于施入茎的土壤的含量。

土壤中有有机碳的含量随着柳枝稷茎、叶施用量的增加而明显增加;在相同施用量条件下,施入茎后的土壤有机碳含量高于施入叶后土壤中有有机碳的含量。柳枝稷的茎、叶的分解率具有一定的差异,而且与施用量具有密切的关系,在相同施用量条件下,柳枝稷的叶的解率高于茎的分解率,表明了柳枝稷茎中有有机碳比叶中有有机碳具有较长的周转期,施用柳枝稷的茎物料可以有效增加土壤碳库。本试验研究可为柳枝稷异地归还农田,增加农田土壤有机质提供依据。

#### 参考文献:

- [1] Dalal R C, Chan K Y. Soil organic matter in rain fed crop-ping systems of the Australian cereal belt[J]. Australian Journal of Soil Research, 2001,39(3):435-464.
- [2] 姜勇,庄秋丽,梁文举. 农田生态系统土壤有机碳库及其影响因子[J]. 生态学杂志,2007,26(2):278-285.
- [3] 芦思佳,韩晓增. 长期施肥对微生物量碳的影响[J]. 土壤通报,2011,42(6):1355-1358.
- [4] 赵小蓉,周然,李贵桐,等. 低磷石灰性土壤加入四种作物秸秆土壤微生物量磷的变化特征[J]. 华北农学报, 2010,25(3):200-204.
- [5] 刘巽浩,高旺盛,朱文珊. 秸秆还田的机理与技术模式[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
- [6] 朱玉芹,岳玉兰. 玉米秸秆还田培肥地力研究综述[J]. 玉米科学,2004,12(3):106-108.
- [7] Recous S, Aita C, Mary B. In situ changes in gross N transformations in bare soil after addition of straw[J]. Soil Biol. & Biochem., 1999,31(1):119-133.
- [8] Mary B, Recous S, Darwis D, et al. Interactions between decomposition of plant residues and nitrogen cycling in soil[J]. Plant and Soil,1996,181(1):71-82.
- [9] 胡松梅,龚泽修,蒋道松. 生物能源植物柳枝稷简介[J]. 草业科学,2008,25(6):29-33.
- [10] 徐炳成,山仑,黄占斌,等. 黄土丘陵区柳枝稷与白羊草光合生理生态特征的比较[J]. 中国草地,2003,25(1):1-4.
- [11] 颜进华. 柳枝稷木素分离与结构表征的研究[J]. 草业科学,2009,26(5):56-61.
- [12] 党亚爱,李世清,王国栋,等. 黄土高原典型土壤有机碳和微生物碳分布特征的研究[J]. 自然资源学报,2007,22(6):936-945.
- [13] Wu J, Joergensen R G, Pommerening B, et al. Measurement of soil microbial biomass C by fumigation-extraction an automated procedure[J]. Soil Biol. Biochem., 1990,22(8):1167-1169.
- [14] 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,2000.
- [15] 方华军,杨学明,张晓平. 农田土壤有机碳动态研究进展[J]. 土壤通报,2003,34(6):562-568.
- [16] 林心雄. 土壤中有有机质分解的控制因素研究[J]. 土壤学报,1995(增刊):41-47.
- [17] Lal R. Soil carbon dynamics in cropland and rangeland [J]. Environmental Pollution,2002,116(3):353-362.
- [18] 吕国红,王笑影,张玉书,等. 农田土壤碳氮及其与气象因子的关系[J]. 农业环境科学学报,2010,29(8):1612-1617.
- [19] 高会议,郭胜利,刘文兆,等. 施肥措施对黄土旱塬区小麦产量和土壤有机碳积累的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2009,15(6):1333-1338.
- [20] 杜章留,高伟达,陈素英,等. 保护性耕作对太行山前平原土壤质量的影响[J]. 中国生态农业学报,2011,19(5):1134-1142.