

不同有机物料还田对黑土活性有机碳组分含量的影响

李 婧^{1,2},迟凤琴^{1,2},魏 丹²,金 梁²,李玉梅²,郭文义³,徐 猛³

(1. 东北农业大学 资源与环境学院,黑龙江 哈尔滨 150030; 2. 黑龙江省农业科学院 土壤肥料与环境资源研究所/黑龙江省土壤环境与植物营养重点实验室,黑龙江 哈尔滨 150086; 3. 沈阳空军后勤部克东农副业基地,黑龙江 克山 161600)

摘 要:采用小区试验,研究大豆-玉米轮作模式下不同有机物料还田处理对黑土土壤活性有机碳及其组分变化特征的影响。结果表明:不同有机物料还田处理显著提高土壤总有机碳含量,与单施化肥(NPK)相比,配施有机肥(MNPK)、化肥配施生物炭(BNPK)、秸秆全量还田(SNPK)分别增加3.04%、2.44%、1.66%;不同有机物料还田措施下土壤水溶性有机碳含量分别增加46.28%、7.57%、14.18%;配施有机肥(MNPK)对土壤易氧化有机碳含量起显著的促进作用,秸秆还田(SNPK)和配施生物炭(BNPK)分别增加土壤微生物量碳17.20%和14.23%。配施有机肥能提高水溶性有机碳比例和土壤微生物量碳比例。土壤活性有机碳各组分之间存在显著相关性。有机肥与化肥的配施(MNPK)对于增加土壤活性有机碳含量和有效调控其关键组分具有重要作用。

关键词:黑土;有机物料;活性有机碳;水溶性有机碳;易氧化有机碳;微生物量碳

中图分类号:S146 **文献标识码:**A **DOI:**10.11861/j.issn.1000-9841.2016.06.0975

Effects of Different Organic Materials Returning to Field on the Content of Active Organic Carbon in Black Soil

LI Jing^{1,2}, CHI Feng-qin^{1,2}, WEI Dan², JIN Liang², LI Yu-mei², GUO Wen-yi³, XU Meng³

(1. College of Resources and Environment, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China; 2. Soil and Environmental Resources Research Institute, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences/Heilongjiang Key Laboratory of Plant Nutrition and Soil Environment, Harbin 150086, China; 3. Shenyang Air Force Logistics Kedong Agricultural Base, Keshan 161600, China)

Abstract: The variation characteristics of the content and components of soil active organic carbon under soybean-corn rotation. Pattern with different organic materials returning to field were investigated in black soil with the plot experiment in Keshan. The results showed that the TOC content of the soil was significantly increased by different organic materials returning to the field, and the increment was 3.04%, 2.44% and 1.66%. Compared with the single application of chemical fertilizer (NPK), the content of WSOC in soil was increased by 46.28%, 7.57% and 14.18%. Fertilizer application of organic fertilizer (MNPK) on the content of EOC played a significant role in promoting, straw to field (SNPK) and the application of biological carbon (BNPK) increased soil MBC 17.20% and 14.23%. Manure application significantly increased the proportion of WSOC and MBC ratio. There was a significant correlation among the components of soil active organic carbon. Therefore, in the field experiment, appropriate application of organic manure and chemical fertilizers (MNPK) played an important role for the increase of soil active organic carbon content and the effective control of its key components.

Keywords: Black soil; Organic material; Active organic carbon; WSOC; EOC; MBC

土壤有机碳是农田土壤的重要组成部分,是土壤质量和功能的核心^[1-2]。土壤活性有机碳虽然仅占总有机碳的一小部分,但是对土壤理化性状、土壤养分的反应更为灵敏^[3-4],在土壤中活性较高、容易被微生物分解矿化、能够被作物直接吸收。有机物料还田是培肥土壤最直接的方式,施用有机物料能直接增加碳投入^[5],提升土壤碳的有效性。

张会民等^[8-9]的研究结果显示,在长期化肥与有机肥配合施用的情况下,土壤中的活性碳组分和总有机碳含量有了显著增加,其原因是肥料中的有机肥组分提高了土壤中的碳源施入,致使土壤微生物

活动增强;李辉信等^[10]研究表明有机无机肥配施使土壤活性有机碳显著增加;周连仁等^[11]研究单施有机肥和有机肥—化肥配施对土壤活性有机碳积累的作用大于单施化肥;徐明岗等^[12-13]研究表明,不同试验地点,化肥配施有机肥与不施肥对比都增加了土壤活性有机碳。王德建^[14]研究了秸秆还田对活性有机质组分的影响。路文涛等^[15]研究发现秸秆还田可以增加易氧化有机碳及总有机碳,但是不同试验条件测定的结果差异性较大。

东北黑土的开垦已有二三百年来^[6],由于持续和大量使用化肥使其土壤理化性状恶化、有机质含量

收稿日期:2016-07-25
基金项目:农业部行业专项(201303095,201303126);黑龙江省农业科学院博士启动金(201507-25);粮食丰产增效科技创新项目(2016YFD0300806);国家现代农业产业技术体系(CARS-04-01A)。
第一作者简介:李婧(1992-),女,硕士,主要从事土壤肥力研究。E-mail: jingli_0228@163.com。
通讯作者:魏丹(1965-),女,博士,研究员,主要从事土壤肥料研究。E-mail: wd2087@163.com。

下降、农作物产量降低^[7]。克山县是东北地区典型的农业大县,第二次土壤普查中,克山县的黑土层厚度下降 10 cm,土壤有机质含量下降了 10.8 g·kg⁻¹,在这种情况下,及时调整施肥结构、因地制宜建立合理的土壤培肥机制迫在眉睫。

本研究以黑龙江省克山县为试验地点,较为系统地分析秸秆还田、配施有机肥和配施生物炭 3 种措施下土壤有机碳含量及活性有机碳组分的变化情况,旨在研究和评价不同有机物料还田措施对克山县典型黑土土壤有机碳的影响,为黑土土壤肥力的保持与提高以及土壤持续利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2013 - 2016 年在沈阳军区空军后勤部克东农副业基地定位试验观测站进行,地处克山县涌泉乡(E47°43' ~ 48°18',N126°01' ~ 126°41'),土壤属于典型黑土,年平均气温 1.3℃,有效积温 2 500℃,属于第二积温带,无霜期 120 d,年降水 500 mm。0 ~ 20 cm 土层土壤全氮 1.81 g·kg⁻¹,全磷 1.69 g·kg⁻¹,全钾 18.9 g·kg⁻¹,碱解氮 129.12 mg·kg⁻¹,速效磷 11.19 mg·kg⁻¹,速效钾 202.2 mg·kg⁻¹,有机碳 30.03 g·kg⁻¹,pH6.36。

1.2 试验设计

试验采取完全随机区组设计,设化肥配施有机肥(MNPK),化肥配施生物炭(BNPK),秸秆全量还田(SNPK,还田措施为机械粉碎抛洒还田)3 个处理,单施化肥(NPK)为对照,采取大豆 - 玉米轮作模式,底肥的氮磷钾养分投入量相等,玉米种植的施肥量为 N:P₂O₅:K₂O = 150:60:40,大豆种植的施肥量为 N:P₂O₅:K₂O = 42:72:30。每个处理 3 次重复,小区面积为 130 m²(5.2 m×25 m),有机肥施用量为 17 250 kg·hm⁻²,生物炭施用量为 2 760 kg·hm⁻²。所有小区采用统一施肥,氮肥为尿素,含 N 量为 46.4%,磷肥为磷酸二铵,P₂O₅ 含量为 46%,钾肥为硫酸钾,K₂O 含量为 50%。土壤样品采于 2015 年 10 月 10 日,采样时种植的作物为大豆,供试大豆品种为黑河 36。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 土壤基本理化性状测定 土壤 pH 测定:pH 计(水土质量比为 2.5:1);土壤有机质的测定:重铬酸钾容量法—外加热法;土壤碱解氮含量的测定:碱解扩散法;土壤速效磷含量的测定:NaHCO₃ 浸提—钼锑抗比色法;土壤速效钾含量的测定:醋酸铵浸提—火焰光度计法^[16]。

1.3.2 土壤活性有机碳 水溶性有机碳(water soluble organic carbon, WSOC)用 TOC 分析仪测定^[17-18]。称取过 2 mm 筛风干土样 5.00 g,置于 50 mL 离心管内,加蒸馏水 30 mL,搅匀,置于恒温水浴振荡器上振荡(180 r·min⁻¹,50℃ ± 2℃)1 h,取出后 3 500 r·min⁻¹ 离心 15 min,上清液用中速定量滤纸过滤至 50 mL 容量瓶中。重复用 20 mL 蒸馏水洗残渣一次,并离心过滤到上述容量瓶中,用蒸馏水定容至 50 mL。

易氧化有机碳(easily oxidized organic carbon, EOC)测定方法为高锰酸钾氧化法。称取过 0.15 mm 筛的约含 15 mg 碳的土壤样品 2 g 左右于 50 mL 离心管,以不加土为空白,3 次重复。加入 25 mL 浓度为 333 mmol·L⁻¹ KMnO₄,25℃ 下常规震荡 1 h,然后离心 5 min(转速 2 000 ~ 4 000 r·min⁻¹)。离心后取上清液,使用去离子水,以 1:250 比例稀释至 250 mL。以紫外分光光度计在 565 nm 下,测定稀释后样品的吸光度,然后根据消耗的 KMnO₄ 体积,计算土壤易氧化有机碳的含量。

土壤微生物量碳(microbial biomass carbon, MBC)的测定方法为氯仿熏蒸 - K₂SO₄ 浸提法。鲜土样品过 2 mm 筛,称取 6.00 g 左右置于离心管中,加 0.5 mol·L⁻¹ 的 K₂SO₄ 溶液 20 mL,25℃ 下以 300 r·min⁻¹ 振荡 30 min。振荡后以 3 000 r·min⁻¹ 转速离心 5 min,离心后样品取上清液过滤,此部分样品作为对照。再称取 6.00 g 鲜土(2 mm 筛),置于真空干燥器中的培养皿内,干燥器底部放置盛有 50 mL 氯仿的烧杯、盛有 50 mL NaOH 溶液的烧杯,将干燥器密封,抽真空至氯仿沸腾 1 ~ 2 min。然后将干燥器 25℃ 培养箱 24 h 后打开阀门,除尽土壤吸附的氯仿,将土样转至 100 mL 塑料离心管中。重复第一步骤中的对照制取过程(振荡、离心、过滤),所得样品提取液用 TOC 测定有机碳含量。所有样品均平行测定 3 次。

1.4 数据分析

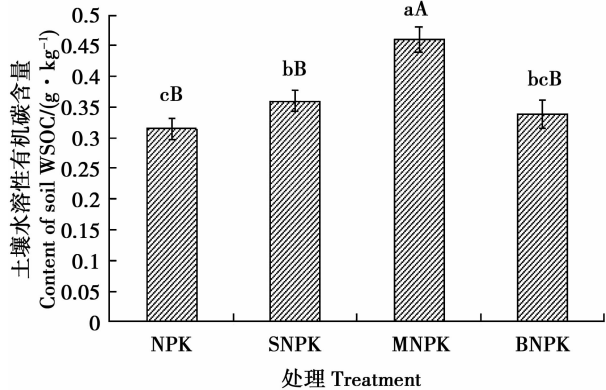
数据的统计分析采用 Excel 2007,多重比较采用 Duncan 新复极差法。

2 结果与分析

2.1 土壤水溶性有机碳

土壤水溶性有机碳(WSOC)是土壤微生物细胞必需的组成物质和主要能源,与土壤微生物密切相关。不同有机物料还田后,土壤 WSOC 含量提高(图 1),与单施化肥(NPK)方式相比,不同有机物料还田处理土壤的 WSOC 含量增加了 7.57% ~

46.28%,其中,配施有机肥(MNPK)处理下土壤WSOC含量最高,是其它处理的1.2倍以上,差异达到极显著水平,有机肥腐解过程释放大量的水溶性有机化合物,提高土壤WSOC的含量,即施有机肥对提高土壤WSOC的含量有促进作用。连续3年秸秆全量还田(SNPK)处理的水溶性有机碳含量增加显著,而配施生物炭(BNPK)的土壤WSOC含量不显著,可能与生物炭高比表面积有关,使其将碳吸附到其空隙内或外表面上,抑制被吸附有机物的降解。



不同大小写字母分别代表 0.01 和 0.05 水平差异显著,下同。
Different capital and lowercase indicate significant difference at 0.01 and 0.05 probability level. The same below.

图1 不同有机物料还田处理下土壤水溶性有机碳含量
Fig. 1 Variation of soil WSOC content in different fertilizer application treatment

2.2 土壤易氧化有机碳

施肥能够提高土壤中WSOC的含量,与此相同,土壤中的易氧化有机碳(EOC)含量也随着肥料的施入而提高(图2),秸秆全量还田(SNPK)、配施有机肥(MNPK)和配施生物炭(BNPK)处理的土壤易氧化有机碳(EOC)含量分别较单施化肥(NPK)增加11.66%、27.45%和16.87%,达到显著或极显著水平,表明不同有机物料还田均能提升土壤易氧化有机碳(EOC)含量。从表1还可以看出,配施有机肥处理对土壤易氧化有机碳(EOC)含量的提升效果高于其它处理,差异达极显著或极显著水平,说明施用有机肥利于增加土壤易氧化有机碳(EOC)含量。

2.3 土壤微生物量碳

土壤微生物量碳(MBC)易受土壤管理措施和有机物降解速率的影响^[19],是反映土壤养分有效性和土壤微生物状况随环境变化的敏感指标。由图3可知,与单施化肥(NPK)相比,配施有机肥(MNPK)极显著增加土壤微生物量碳(MBC)含量,增加

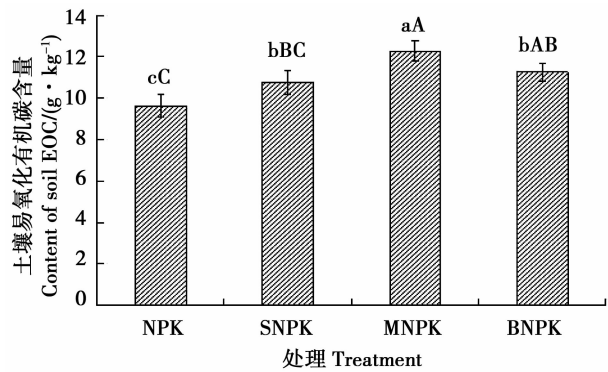


图2 不同有机物料还田处理下土壤易氧化有机碳含量
Fig. 2 Variation of soil EOC content in different fertilizer application treatment

36.39%,配施有机肥不但增加了土壤养分,也为微生物提供了充足的碳源,促进了土壤微生物的生长,使土壤微生物量碳含量显著增加;秸秆全量还田(SNPK)处理的土壤微生物量碳(MBC)含量增加17.20%,达显著性水平,其原因可能由于秸秆还田增强土壤蓄水保墒能力,为土壤微生物的生长创造良好的生存条件,益于土壤微生物数量增加;配施生物炭(BNPK)措施下土壤微生物量碳(MBC)含量没有显著变化,应该与生物炭具有较大的比表面积、较强的吸附能力,在肥力水平较高的土壤中对微生物产生轻微抑制作用有关。

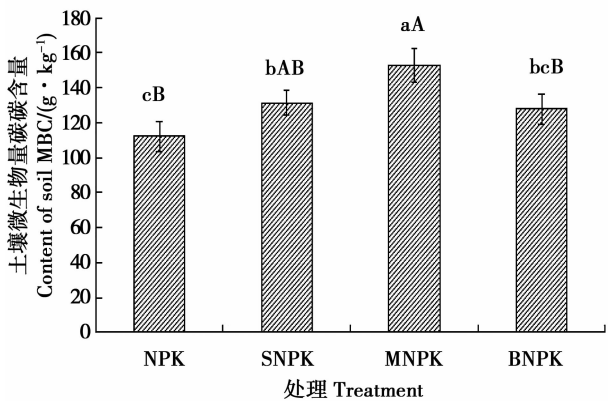


图3 不同有机物料还田处理下土壤微生物量碳的含量
Fig. 3 Variation of soil MBC content in different fertilizer application treatment

2.4 不同土壤活性有机碳组分占总有机碳的比例

土壤中的活性有机碳中总有机碳所占的百分比比较低,但其性质活跃,在土壤保肥、维持土壤碳储量中起到重要作用。一般来说,研究中普遍认为土壤中的活性有机碳比例越大,土壤中的有机碳被微生物所分解的机会越高,土壤有机质的质量也越好^[20]。

经过3年的培肥试验,土壤总有机碳的范围在29.95~30.86 g·kg⁻¹。土壤中总有机碳含量的差

异对土壤活性有机碳有一定的影响,而活性有机碳中总有机碳中所占的比例可以消除这种影响。土壤活性有机碳组分受施肥措施影响显著(表1),培肥试验显示,与单施化肥(NPK)相比,不同施肥措施之间水溶性有机碳的比例差异极显著,土壤易氧化有机碳(EOC)和土壤微生物量碳(MBC)占总有机碳的比例差异达极显著水平。配施有机肥(MN-

PK)的水溶性有机碳占总有机碳比例极显著高于秸秆还田(SNPK)和配施生物炭(BNPK)处理,可见化肥配施有机肥更利于土壤WSOC比例提升。秸秆还田(SNPK)和无机有机肥配施(MNPK)处理分别显著和极显著地提高了土壤微生物量碳占总有机碳的比例。

表1 土壤活性有机碳占总有机碳的比例

Table 1 Distribution of WSOC,EOC and MBC accounting for the proportion of total organic carbon in soil				
处理 Treatment	有机碳 TOC/(g·kg ⁻¹)	水溶性有机碳比例 CW to CT/%	易氧化有机碳比例 CE to CT/%	微生物量碳比例 CM to CT/%
NPK	29.95 ± 0.32 b	1.05 cB	32.17 cB	0.37 cB
SNPK	30.45 ± 0.43 ab	1.18 bB	35.34 bAB	0.43 bAB
MNPK	30.86 ± 0.32 a	1.49 aA	39.80 aA	0.50 aA
BNPK	30.68 ± 0.31 a	1.10 cbB	36.70 abAB	0.42 bcAB

数据为3个重复的平均值±标准差;小写字母表示差异显著($P<0.05$),大写字母表示差异极显著($P<0.01$)。
The values are the means of three replicates (Means ± SD). Lowercase in each column indicates significant differences at $P<0.05$, the capital in each column indicates significant differences at $P<0.01$.

2.5 不同活性碳之间的相关分析

对土壤总有机碳及活性有机碳各组分之间进行了相关性分析,结果表明TOC、WSOC、EOC、MBC之间均存在显著相关性(表2)。说明不同活性碳均与总有机碳之间关系密切,进一步验证了3种不同形态的活性有机碳可以指示土壤总有机碳的变化。

表2 土壤不同碳形态之间相关分析

	TOC	WSOC	EOC	MBC
TOC	1.000	0.589 *	0.806 **	0.556
WSOC		1.000	0.855 **	0.902 **
EOC			1.000	0.875 **
MBC				1.000

* 和 ** 分别表示在0.05和0.01水平(双侧)上显著相关。
* and ** indicate correlation is significant at the 0.05 and 0.01 level (2-tailed), respectively.

3 讨论

研究证明不同有机物料还田措施对土壤有机碳含量有影响,秸秆还田可以防治大气污染,增强土壤微生物活性,提高土壤内的有机质,提高土壤肥力;有机肥是施于土壤以提供植物营养为其主要功能的含碳物料,能提高土壤易氧化有机碳和总有机碳含量;生物炭能够改善土壤结构、增加TOC含量,提高EOC含量^[21-24]。本研究表明,有机肥、生物炭与化肥配施均能提高总有机碳、易氧化有机碳含量。土壤易氧化有机碳的大量消耗表示土壤生物的生命活力下降。本研究中配施生物炭(BNPK)和

配施有机肥(MNPK)处理的土壤易氧化有机碳含量较单施化肥处理增加达极显著水平,秸秆还田(SNPK)处理的易氧化有机碳与单施化肥处理达显著性水平。这可能是由于秸秆的腐解是以微生物作用为主导,而黑土土质粘、通气性差等特点使土壤微生物活性降低,导致秸秆的培肥效果受到抑制。可见3种有机物料还田均是增加土壤易氧化有机碳含量的重要措施。

土壤水溶性有机碳的主要来源是植物残体和土壤腐殖质,土壤水溶性有机碳性质较为活跃,在土壤中的转化速率较高,可以直接作为有机碳源被微生物所利用^[25]。本研究中不同有机物料还田措施的WSOC含量在300 mg·kg⁻¹左右,约占土壤总有机碳的1%,其中,配施有机肥(MNPK)处理的WSOC含量最高,为460 mg·kg⁻¹,其原因应该是有有机肥富含有机碳,通过微生物降解,在短期内产生高浓度的水溶性有机物。

土壤微生物量碳仅占土壤碳库的1%~5%,对环境的变化较敏感^[26-27],是反映有机质质量的重要指标。与相关报道的研究结果类似^[28-30],向土壤输入作物残体和有机物料增加了微生物的碳源,刺激了微生物活性,使土壤微生物碳含量增加。正是基于此原因,与单施化肥的对照处理相比,秸秆还田(SNPK)和配施有机肥(MNPK)处理均显著增加了土壤微生物量碳含量。

秸秆还田措施作为近年来广泛研究的热点,对土壤有机碳组分的转化固定有着显著效果,虽然其

肥效略低于有机肥料,但秸秆资源具有来源广泛、成本低廉的优点,目前秸秆还田机械对玉米秸秆的粉碎效果不理想,如能解决这一问题将能够大面积推广。本研究数据显示,随着生物炭的施入,土壤TOC、WSOC、EOC、MBC含量均不同程度提高,玉米秸秆作为一种新型有机物料有着广泛的应用前景。但其肥效的显著性低于有机肥,在未来的研究中,可考虑将生物炭与其它有机物料进行不同用量比例配合施用,以达到显著培肥土壤、提升地力的效果。有机肥处理对土壤各项有机碳组分的提升和活化作用要明显高于其它有机物料还田措施,因此,本研究结果推荐有机肥处理为提升黑土活性有机碳组分的最优施肥方案。

4 结 论

不同有机物料还田均能显著提高土壤总有机碳含量。其中,配施有机肥(MNPK)土壤有机碳含量高于配施生物炭(BNPK)和秸秆还田(SNPK),差异达到显著水平。各措施对土壤活性有机质组分的影响不同,不同处理间土壤水溶性有机碳、易氧化有机碳、微生物量碳含量存在差异,配施有机肥(MNPK)的WSOC、EOC、MBC含量均高于单施化肥(NPK),其中EOC的含量差异达显著水平,WSOC、EOC含量差异达极显著水平。秸秆还田(SNPK)显著增加MBC含量,配施生物炭(BNPK)增加EOC含量。

参考文献

[1] 马超,周静,刘满强,等. 秸秆促腐还田对土壤养分及活性有机碳的影响[J]. 土壤学报,2013,53(5):915-921. (Ma C, Zhou J, Liu M Q, et al. Effects of straw mulching on soil nutrients and active organic carbon [J]. Journal of Soil Science, 2013,53(5):915-921.)

[2] 路文涛,贾志宽,张鹏,等. 秸秆还田对宁南旱作农田土壤活性有机碳及酶活性的影响[J]. 农业环境科学学报,2011,31(3):522-528. (Lu W T, Jia Z K, Zhang P, et al. Effects of straw returning on soil active in dry farmland organic carbon and enzyme activity [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2011, 31(3):522-528.

[3] Lal R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security[J]. Science, 2004, 304: 1623-1627.

[4] 张瑞,张贵龙,姬艳艳,等. 不同施肥措施对土壤活性有机碳的影响[J]. 环境科学,2013,34(1):277-282. (Zhang R, Zhang G L, Ji Y Y, et al. Effects of different fertilization treatments on soil labile organic carbon [J]. Environmental Science, 2013,34(1):277-282.)

[5] 杨敏芳,朱利群,韩新忠,等. 不同土壤耕作措施与秸秆还田对稻麦两熟制农田土壤活性有机碳组分的短期影响[J]. 应

用生态学报,2013,24(5):1387-1393. (Yang M F, Zhu L Q, Han X Z, et al. Short term effects of different soil tillage and straw returning on soil active organic carbon in the two cropping system of rice and wheat [J]. Journal of Applied Ecology, 2013,24(5): 1387-1393.)

[6] 赵纪昌. 推行科学耕作拯救黑土地[J]. 农机化研究, 2004, 26(1):23-24. (Zhao J C. The implementation of scientific farming to save the black land [J]. Agricultural Research, 2004 ,26(1): 23-24.)

[7] Cook B D, Allan D L. Dissolved organic carbon in old fieldsoils: Compositional changes during the biodegradation of soil organic matter[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1992,24(6):595-600.

[8] 柳影,彭畅,张会民,等. 长期不同施肥条件下黑土的有机质含量变化特征[J]. 中国土壤与肥料,2011(5):7-11. (Liu Y, Peng C, Zhang H M, et al. The change characteristics of organic matter content in black soil under long-term different fertilization conditions [J]. Chinese Soil and Fertilizer, 2011(5): 7-11.)

[9] 仪明媛,彭畅,张会民,等. 长期施肥下黑土活性有机碳变化特征[J]. 土壤通报,2012,43(5):1139-1144. (Yi M Y, Peng C, Zhang H M, et al. Under long-term fertilization in black soil labile organic carbon [J]. Variation of Soil Science, 2012,43(5): 1139-1144.)

[10] 李辉信,袁颖红,黄欠如,等. 长期施肥对红壤性水稻土团聚体活性有机碳的影响[J]. 土壤学报, 2008, 48(2):259-266. (Li H X, Yuan Y H, Huang Q R, et al. Effects of long-term fertilization on labile organic carbon of soil aggregates in red soil of red soil [J]. Journal of Soil Science, 2008, 48(2): 259-266.)

[11] 刘颖,周连仁,苗淑杰,等. 长期施肥对黑土活性有机质的影响[J]. 水土保持通报,2009(3):133-136. (Liu Y, Zhou L R, Miao S J, et al. Effect of long-term fertilization on labile organic matter in black soil [J]. Soil and Water Conservation Bulletin, 2009(3):133-136.)

[12] Muhammad Aslam. 长期有机无机配施对中国典型农田土壤活性有机碳组分的影响[D]. 北京:中国农业科学院,2012. (Muhammad Aslam. Effects of long-term organic and inorganic fertilizer application on soil labile organic carbon in typical farmland in China of Aslam [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2012.)

[13] 张璐,张文菊,徐明岗,等. 长期施肥对中国3种典型农田土壤活性有机碳库变化的影响[J]. 中国农业科学,2009,42(5):1646-1655. (Zhang L, Zhang W J, Xu M G, et al. Effects of long-term fertilization on soil active organic carbon pool in 3 typical farmland soils in China [J]. China Agricultural Science, 2009,42(5):1646-1655.)

[14] 闫德智,王德建. 长期施用化肥和秸秆对活性有机质组分的影响[J]. 土壤,2008,40(3):407-411. (Yan D Z, Wang D J. Effects of long-term application of chemical fertilizer and straw on the composition of active organic matter [J]. Soil, 2008,40(3): 407-411.)

[15] 王桂林,曹鹏,刘章勇. 保护性耕作对土壤养分及碳库管理指数的影响[J]. 环境科学与技术,2012,35(8):71-73,162. (Wang G L, Cao P, Liu Z Y. Effects of conservation tillage on soil nutrients and carbon pool management index [J]. Environ-

mental Science and Technology, 2012,35(8):71-73,162.)

[16] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2005 (Bao S D. Soil agricultural chemistry analysis [C]. Beijing:Chinese Agricultural Soil Analysis Agriculture Press,2005.)

[17] 张晋京, 窦森, 江源, 等. 玉米秸秆分解期间土壤中有机碳数量的动态变化研究[J]. 吉林农业大学学报,2000,22(3):67-72. (Zhang J J, Dou S, Jiang Y, et al. Study on the dynamic change of soil organic carbon in the soil during the decomposition of maize straw [J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2000, 22(3):67-72.)

[18] Chantigny M H, Angers D A, Prévost D, et al. Dynamics of soluble organic C and C mineralization in cultivated soils with varying N fertilization[J]. Soil Biology and Biochemistry,1999,31(4):543-550.)

[19] 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):1412-1417. (Liu M, Yu W T, Jiang Z S, et al. Soil active organic carbon [J]. Ecology Journal, 2006,25(11):1412-1417.)

[20] Gregorich E G, Liang, B C, Ellert B H, et al. Fertilization effects on soil organic matter turnover and corn residue C storage[J]. Soil Science Society of America Journal,1996,60(2):472-476.

[21] 张迪, 韩晓增. 长期不同植被覆盖和施肥管理对黑土活性有机碳的影响[J]. 中国农业科学,2010,43(13):2715-2723. (Zhang D, Han X Z. Effects of long-term different vegetation cover and fertilization management on the activity of organic carbon in black soil [J]. China Agricultural Science, 2010,43(13):2715-2723.)

[22] Johnson D, Leake J R, Read D J. Liming and nitrogen fertilization affects phosphatase activities, microbial biomass and mycorrhizal colonization in upland grassland[J]. Plant and Soil,2005,271(1-2):157-164.

[23] 梁尧, 韩晓增, 宋春, 等. 不同有机物料还田对东北黑土活性有机碳的影响[J]. 中国农业科学,2011,44(17):3565-3574. (Liang Y, Han X Z, Song C, et al. Effects of different organic materials on the activity of organic carbon in black soil of Northeast China [J]. China Agricultural Science, 2011,44(17):3565-3574.)

[24] Wang J Y, Song C C, Hou A X. Effects of freezing - thawing cycle on peatland active organic carbon fractions and enzyme activities in the Da Xing'anling Mountains, Northeast China[J]. Environmental Earth Sciences, 2014,72(6):1853-1860.

[25] Geng Y Q, Yu X X, Yue Y J. Active organic carbon pool of coniferous and broad-leaved forest soils in the mountainous areas of Beijing[J]. Forestry Studies in China,2009,11(4):225-230.

[26] 杨敏芳, 朱利群, 韩新忠, 等. 不同土壤耕作措施与秸秆还田对稻麦两熟制农田土壤活性有机碳组分的短期影响[J]. 应用生态学报,2013,24(5):1387-1393. (Yang M F, Zhu L Q, Han X Z, et al. Short term effects of different soil tillage and straw returning on soil active organic carbon in the two cropping system of rice and wheat [J]. Journal of Applied Ecology, 2013,24(5):1387-1393.)

[27] 田小明, 李俊华, 危常州, 等. 不同生物有机肥用量对土壤活性有机质和酶活性的影响[J]. 中国土壤与肥料,2012(1):26-32. (Tian X M, Li J H, Wei C Z, et al. Effects of different bio-organic fertilizer application on soil labile organic matter and enzyme activities [J]. China soil and Fertilizer, 2012(1):26-32.)

[28] 万忠梅, 宋长春, 杨桂生, 等. 三江平原湿地土壤活性有机碳组分特征及其与土壤酶活性的关系[J]. 环境科学学报,2009,29(2):406-412. (Wan Z M, Song C C, Yang G S, et al. Characteristics of soil active organic carbon and its relationship with soil enzyme activity in Sanjiang plain wetland [J]. Journal of Environmental Science, 2009,29(2):406-412.)

[29] 黄威, 陈安磊, 王卫, 等. 长期施肥对稻田土壤活性有机碳和氮的影响[J]. 农业环境科学学报,2012,31(9):1854-1861. (Huang W, Chen A L, Wang W, et al. Effects of long-term fertilization on soil active organic carbon and nitrogen in paddy fields [J]. Journal of Agricultural and Environmental Sciences, 2012, 31(9):1854-1861.)

[30] Liu X B, Liu J D, Xing B S, et al. Effects of long-term continuous cropping, tillage and fertilization on soil organic carbon and nitrogen of black soils in China[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2005, 36: 1229- 1239.

欢迎订阅 2017 年《大豆科学》

《大豆科学》是由黑龙江省农业科学院主管主办的大豆专业领域学术性期刊,也是被国内外多家重要数据库和文摘收录源收录的重点核心期刊。主要刊登有关大豆遗传育种、品种资源、生理生态、耕作栽培、植物保护、营养肥料、生物技术、食品加工、药用功能及工业用途等方面的学术论文、科研报告、研究简报、国内外研究述评、学术活动简讯和新品种介绍等。

《大豆科学》主要面向从事大豆科学研究的科技工作者,大专院校师生、各级农业技术推广部门的技术人员及科技种田的农民。

《大豆科学》为双月刊,16开本,国内外公开发行,国内每期定价:20.00元,全年120.00元,邮发代号:14-95。国外每期定价:20.00美元(含邮资),全年120.00美元,国外代号:Q5587。全国各地邮局均可订阅,也可向编辑部直接订购。

热忱欢迎广大科研及有关企事业单位刊登广告,广告经营许可证号:2301030000004。

地址:哈尔滨市南岗区学府路368号《大豆科学》编辑部(邮编:150086)

电话: 0451-86668735

网址: www.haasep.cn

E-mail: ddkxbjb@126.com