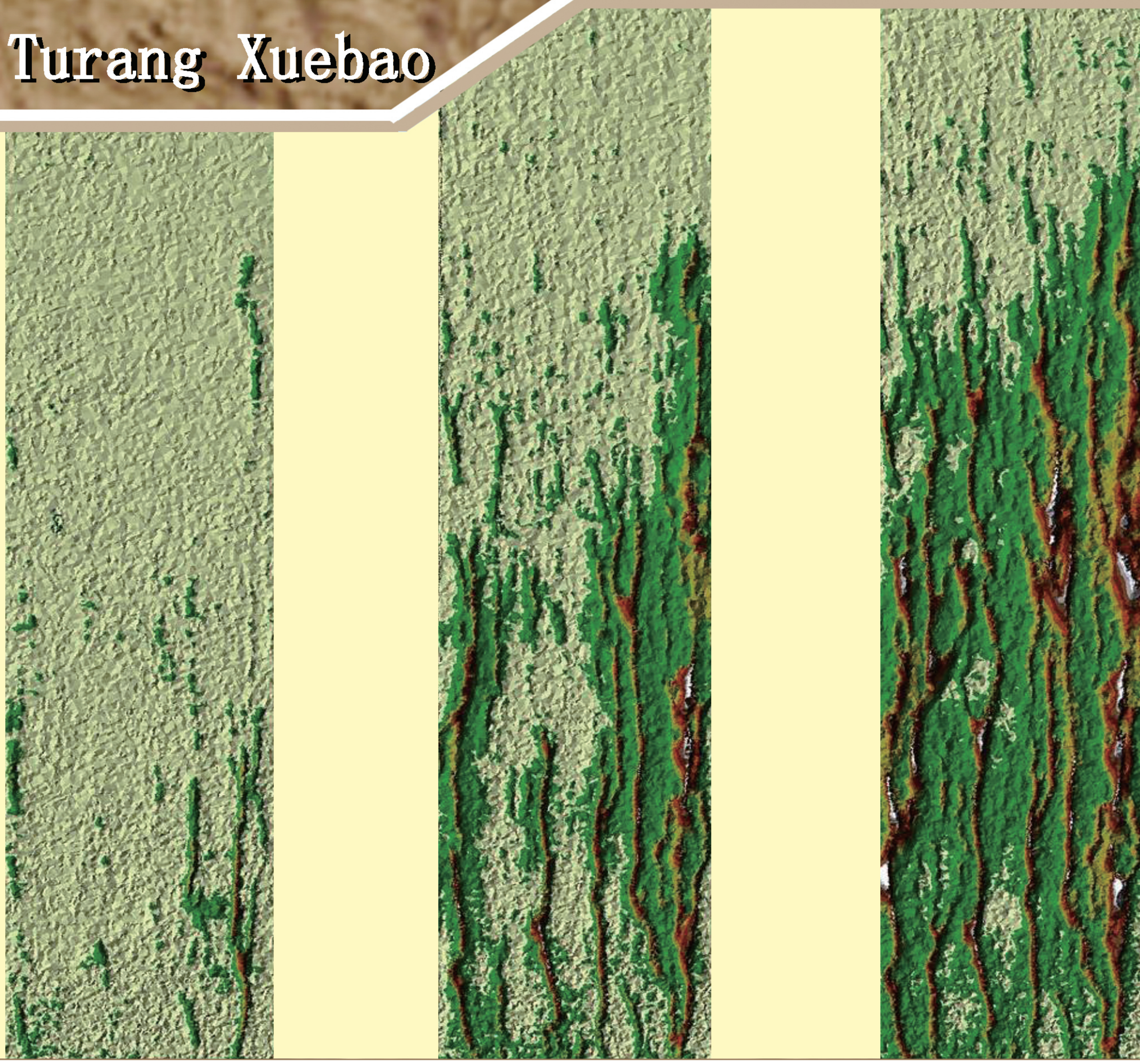
土壤学报 第五十二卷 第一期 二〇一五年一月 科学出版社

ISSN 0564-3929

Acta Pedologica Sinica 土壤学报

Turang Xuebao



中国土壤学会 主办
科学出版社 出版

2015
第52卷 第1期
Vol.52 No.1

土　壤　学　报

Turang Xuebao

（双月刊，1948 年创刊）

第 52 卷　第 1 期　2015 年 1 月

ACTA PEDOLOGICA SINICA

(Bimonthly, Started in 1948)

Vol. 52　No. 1　Jan. ,2015

编　辑	《土壤学报》编辑委员会 地址：南京市北京东路 71 号　邮政编码：210008 电话：025 - 86881237 E-mail：actapedo@ issas. ac. cn	Edited by	Editorial Board of Acta Pedologica Sinica Add：71 East Beijing Road, Nanjing 210008, China Tel：025 - 86881237 E-mail：actapedo@ issas. ac. cn
主　编	史学正	Editor-in-Chief	Shi Xuezheng
主　管	中国科学院	Superintended by	Chinese Academy of Sciences
主　办	中国土壤学会	Sponsored by	Soil Science Society of China
承　办	中国科学院南京土壤研究所	Undertaken by	Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences
出　版	科学出版社 地址：北京东黄城根北街 16 号 邮政编码：100717	Published by	Science Press Add：16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印刷装订	北京中科印刷有限公司	Printed by	Beijing Zhongke Printing Limited Company
总发行	科学出版社 地址：北京东黄城根北街 16 号 邮政编码：100717 电话：010 - 64017032 E-mail：journal@ mail. sciencep. com	Distributed by	Science Press Add：16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel：010 - 64017032 E-mail：journal@ mail. sciencep. com
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址：北京 399 信箱　邮政编码：100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add：P. O. Box 399, Beijing 100044, China

国内统一刊号：CN 32-1119/P　　国内邮发代号：2-560　　国外发行代号：BM45　　定价：60.00 元

国内外公开发行

ISSN 0564-3929

9 770564 392156 01

DOI:10.11766/trxb201312190601

长期施肥下黑土活性有机质和碳库管理指数研究*

何翠翠[1] 王立刚[1] 王迎春[1†] 张 文[1] 杨晓辉[2]
(1 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所/农业部面源污染控制重点实验室/中国农业科学院-美国新罕布什尔大学可持续农业生态系统研究联合实验室,北京 100081)
(2 吉林省镇赉县植保站,吉林白城 137000)

摘 要 基于东北黑土长期定位试验,研究不同施肥措施对黑土活性有机质及其碳库管理指数的影响。结果表明:在不同施肥措施的影响下土壤有机质得到了不同程度的提高。撂荒处理(CK_0)土壤有机质较初始值提高了 35.62%;单施化肥处理有机质提高最小,为 10%~15%;其次为秸秆还田处理提高了 20%;有机肥和化肥配施处理土壤有机质提高效果最显著,为 66.38%~92.13%。黑土活性有机质分布规律为高活性有机质、中活性有机质、低活性有机质分别占有机质含量的 3.80%~10.28%、1.59%~12.32%、8.71%~27.45%。以撂荒处理为参考土壤,有机肥和化肥配施处理高活性有机质、中活性有机质碳库管理指数高于参考土壤;氮磷钾肥配施处理(NPK)高活性有机质及其高活性有机质碳库管理指数与参考土壤较为接近;单施氮肥处理(N)、施用氮肥和磷肥处理(NP)、施用氮肥和钾肥处理(NK)、施用磷肥和钾肥处理(PK)高活性有机质、中活性有机质及总活性有机质碳库管理指数均低于参考土壤。采用有机肥无机肥配施对提高黑土活性有机质含量,提高土壤碳库管理指数具有比较好的效果。

关键词 黑土;活性有机质;碳库管理指数
中图分类号 S153.3 **文献标识码** A

土壤有机质(SOM)是一种复杂的混合物质,其直接或间接地影响着土壤特性和养分循环[1-4]。同时,土壤有机质受到种植作物、田间管理措施和气候[5]等因素的影响,其中施肥是影响土壤有机质及土壤活性有机质的主要因素[6]。土壤有机质总量在短时间内并不能灵敏全面地反映土壤有机质的内在组成变化[7],而土壤活性有机质与土壤碳库管理指数能灵敏地反映出有机质有效组分的变化状况,近些年逐渐成为评价土壤质量和土壤管理的重要指标[7-8]。

Logninow 等[9]提出高锰酸钾氧化法,根据不同浓度的 $KMnO_4$($33\ mmol\ L^{-1}$、$167\ mmol\ L^{-1}$、$333\ mmol\ L^{-1}$)氧化土壤有机质的数量,将易氧化有机质分成高活性有机质、中活性有机质、低活性有机质 3 种不同的级别。随后 Blair 等[7]认为土壤碳库的变化主要发生在易氧化碳库里,也就是活性有机质部分,并提出了碳库管理指数(carbon pool management index,CPMI)的算法,CPMI 是基于研究对象及参考土壤的活性有机质与土壤有机质,用以评价土壤活性有机碳的指标。徐明岗等[10]对红壤的化学性质和活性有机质及其碳库管理指数进行了相关性分析,结果表明,红壤活性有机质、中活性有机质与阳离子交换量、交换性钾、交换性钙、盐基总量呈显著或极显著相关,活性有机质的不同组分和碳库管理指数可以客观地反映土壤肥力状况。沈宏等[11]对红壤不同生态系统的碳库管理指数进行了研究,结果表明碳库管理指数可灵敏地反映农业生产措施对碳库的影响。王晶等[12]研究得出高量有机肥与无机化肥配施可以大幅度地提高黑土土壤活性有机质含量和碳库管理指数。王琳等[13]研究了长期保护性耕作对黄绵土活性有机质的影响,得出了采用免耕结合秸秆覆盖的保护性耕作措施有利于活性有机质含量的提高。王丹丹等[14]主要对秸秆还田下的土壤活性有机质进行了研究,结果表

* 公益性行业(农业)科研专项(201303126)资助
† 通讯作者,王迎春(1973—),女,副研究员,主要从事土壤肥力及农业生态研究。E-mail: wangyingchun@caas.cn
作者简介:何翠翠(1987—),女,硕士研究生,主要从事土壤肥力研究。E-mail: hcccaas@163.com
收稿日期:2013-12-19;收到修改稿日期:2014-07-15

明秸秆还田量越大碳库管理指数越高。前人研究主要集中在长期施用有机肥能显著提高土壤活性有机质的含量，对于不同活性有机质的分类定量研究比较少，对于长期施肥情况下土壤活性有机质、非活性有机质的变化及其比重研究相对较少。

东北地区是我国的粮仓，黑土是我国农业综合生产能力最大的土壤，总面积为 700 多万公顷[15]，承担着国家粮食安全的重任，而目前东北黑土有机质含量逐渐降低，因此，为保障粮食安全培肥土壤，提升黑土有机质内在活性是东北地区长期的重要工作之一。本研究以长期定位试验为基础，探明不同长期施肥措施对黑土活性有机质及碳库管理指数的影响，为切实提高黑土土壤肥力及优化施肥管理措施提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　实验地概况

本研究以“国家肥力与肥料效益监测基地”东北黑土长期定位试验为依托。试验点位于吉林省公主岭市（N43°30′23″，E124°48′34″），海拔 220 m，属于温带大陆性季风气候区。该地区主要种植模式为玉米连作和玉米-大豆轮作。该试验点的年平均气温为 5 ~ 6℃，有效积温为 2 600 ~ 3 000℃，年日照时数为 2 500 ~ 2 700 h，无霜期为 125 ~ 140 d。试验前的土壤基本性状见表 1，采用常规方法测定[16]。

表 1　吉林省公主岭市土壤肥力与肥料效益监测试验点土壤的基本理化性质

Table 1　Basic state of soil nutrients at the Gongzhuling long-term soil fertility and fertilizer efficiency monitoring station

土层深度 Depth (cm)	pH	有机质 Organic matter	全氮 Total N	全磷 Total P	全钾 Total K	碱解氮 Alkali hydrolysis N	速效磷 Available P	速效钾 Available K
		(g kg^{-1})				(mg kg^{-1})		
0 ~ 20	7.6	23.3	1.40	1.39	22.1	114	27.0	190
20 ~ 40	7.5	15.2	1.30	1.35	22.3	98	15.5	181
40 ~ 65	7.5	7.1	0.57	1.00	22.0	41	7.2	185
65 ~ 90	7.6	6.8	0.50	0.98	22.1	39	4.2	189
90 ~ 150	7.6	6.3	0.38	0.91	22.2	37	4.1	187

1.2　试验设计

本长期定位试验始于 1990 年，共设 12 个处理。小区无重复，面积为 400 m^2：(1) CK_0，撂荒处理作为参考土壤，即不种植作物、不耕作；(2) CK，空白处理，即种植玉米作物，不施肥；(3) N，单施氮肥；(4) NP，施用氮肥和磷肥；(5) NK，施用氮肥和钾肥；(6) PK，施用磷肥和钾肥；(7) NPK，施用氮磷钾肥；(8) SNPK，秸秆还田 7 500 kg hm^{-2} + NPK（常量化肥）；(9) MNPK，有机肥和无机肥配合施用，有机肥施用量为 3×10^5 kg hm^{-2} + NPK；(10) $MNPKW_2$，有机肥 3×10^5 kg hm^{-2} + NPK，种植方式为玉米-大豆轮作（2 年玉米，1 年大豆）；(11) 1.5MNPK，1.5 倍的有机肥和常量的氮磷钾肥；(12) 2MNPK，2 倍的有机肥和常量的氮磷钾肥。氮肥施用量为 N 165 kg hm^{-2}，磷肥施用量为 P_2O_5 82.5 kg hm^{-2}，钾肥施用量为 K_2O 82.5 kg hm^{-2}，无机氮与有机氮比例为 7∶3。$MNPKW_2$ 的种植方式为玉米-大豆轮作（2 年玉米，1 年大豆），其他处理的种植方式为玉米-玉米连作，秸秆还田量为 7 500 kg hm^{-2}，N 不足量以无机 N 补充。有机肥作底肥，秸秆粉碎后于 7 月中旬追肥后撒施垄沟中，磷钾肥和 1/3 氮肥作基肥随播种同时施入，其余 2/3 氮肥于拔节前追施于表土下 10 cm 处。

1.3　样品采集与测定

2013 年 4 月 25 日采集 0 ~ 20 cm 的耕层土壤，先将每个大区分为三个取样小区，在每个取样小区按梅花形 5 点法采样并混匀。将样品中的根系、石块等挑出，自然风干后过 2 mm 筛后测定土壤的基本理化性状[16]。

用 $KMnO_4$ 氧化法测定土壤中的活性有机质。其操作为：称取约含 15 mg 碳的土壤样品于 30 ml 塑料旋盖的离心管中，加入 25 ml $KMnO_4$，常温静置 24 h，然后在时速 2 000 r min^{-1}下离心 5 min，将上清液用去离子水稀释，在分光光度计 565 nm 下测定

稀释样品的吸光率，由不加土壤的空白与土壤样品的吸光率之差，计算出 $KMnO_4$ 浓度的变化，进而计算出被氧化碳含量或有机质即活性有机质含量（氧化过程中 1mmol L^{-1} $KMnO_4$消耗 9 mg C）[7,10]。

1.4　计算方法

试验中选择的 $KMnO_4$ 浓度为 33 mmol L^{-1}、167 mmol L^{-1}和 333 mmol L^{-1}，由此测定出的三组活性有机质分别称其为高活性有机质、中活性有机质和低活性有机质。即能被 33 mmol L^{-1} $KMnO_4$氧化的有机质称为高活性有机质（Highly labile organic matter, H-LOM），能被 167 mmol L^{-1} $KMnO_4$氧化且不能被 33 mmol $L^{-1}$$KMnO_4$氧化的有机质称为中活性有机质（Moderately labile organic matter, M-LOM），能被 333 mmol L^{-1} $KMnO_4$ 氧化且不能被 167 mmol L^{-1} $KMnO_4$氧化的有机质称为低活性有机质（Lowly labile organic matter, L-LOM），不能被 333 mmol L^{-1} $KMnO_4$氧化的有机质称为非活性有机质（Non-labile carbon, N-LOM）[5]。

土壤碳库管理指数计算方法为[7,10]：

碳库指数（CPI） = 样品有机质含量（g kg^{-1}）/ 参考土壤有机质含量（g kg^{-1}）

土壤碳的不稳定性，即碳库活度（L）等于土壤中的活性有机质（指的是不同活性程度的有机质）与非活性有机质（指的是该活性有机质所对应的非活性有机质）之比：

$$L = 样本中的活性有机质（LOM）/ 样本中的非活性有机质（N\text{-}LOM） \quad (1)$$

活度指数（LI）：

$$LI = 样本的不稳定性（L）/ 参考的不稳定性（L0） \quad (2)$$

基于以上参数可以得到碳库管理指数（Carbon pool management index, CPMI）：

$$CPMI = CPI \times LI \times 100 \quad (3)$$

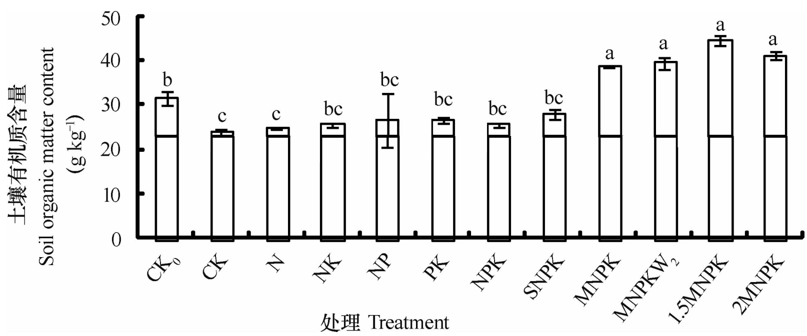
1.5　统计分析

数据采用 SPSS19.0 软件进行统计分析。

2　结　果

2.1　长期施肥下土壤有机质含量的变化

长期不同施肥管理措施对土壤有机质含量的影响不同（图 1）。从 1990 年起，全部施肥处理的土壤有机质含量与试验初始土壤有机质含量相比均有了不同程度的提高。其中，不施肥、不耕作的撂荒处理（地上植被为自然生长的杂草）CK_0土壤有机质含量较初始值提高了 35.62%，增加效果明显；CK 和 N 处理土壤有机质增加效果最不明显，分别只提高了 3.03% 和 6.41%，且 CK 和 N 处理间无差异；NP、NK、PK、NPK、SNPK 处理土壤有机质含量之间差异不显著，较土壤有机质初始值提高了约 10%～20%；而有机肥与化肥配施处理 MNPK、$MNPKW_2$、1.5MNPK、2MNPK 下土壤有机质含量与土壤有机质初始值相比则有明显的增加，分别较初始土壤有机质提高了 66.38%、70.30%、92.13%、77.58%，同时其土壤有机质含量显著高于其他处理土壤有机质含量。



注：土壤有机质含量初始值为 23.3g kg^{-1}，相同的字母表示在 5% 水平差异不显著 Note：The initial soil organic matter content is 23.3 g kg^{-1}. The same letters mean difference is not significant at the 0.05 level（LSD）to different fertilizer treatments

图 1　不同施肥处理下土壤有机质含量的差异

Fig. 1　Soil organic matter content relative to fertilizer treatments

2.2　长期施肥对土壤高活性有机质含量的影响

黑土高活性有机质（H-LOM）含量为 0.94 ～ 4.19 g kg^{-1}，约占总活性有机质的 17.25% ～ 40.80%，占土壤有机质的 3.80%～10.28%（图 2）。在不同施肥管理措施下，高活性有机质（H-LOM）含量的变化较土壤有机质更为显著。N 处理的 H-

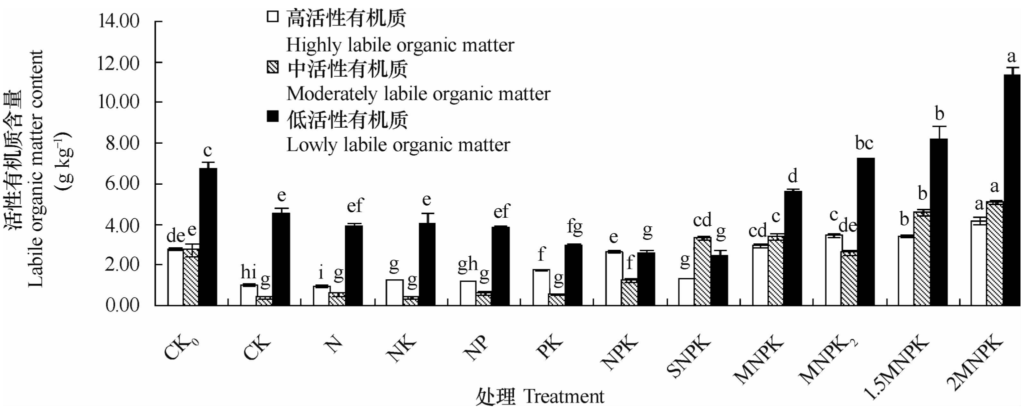
LOM 含量最低,为 0.94 g kg^{-1};其次为空白对照处理(CK),两者之间并无差异;NK、NP、PK 处理的 H-LOM 含量较 N 处理和 CK 处理高;NPK 处理的 H-LOM 较其他单施化肥处理和不施肥处理的含量高;在有机无机肥配施的处理中,除了秸秆还田处理,H-LOM 含量均较其他化肥处理高很多,差异显著,且随着有机肥施入量的增加高活性有机质呈现出升高的趋势。秸秆还田处理在施入秸秆的同时依然施入了 NPK 化肥,可是其 H-LOM 却未提高,反而较 NPK 处理的 H-LOM 含量低很多。相对于撂荒处理 H-LOM 含量(2.79 g kg^{-1}),MNPK、NPK 处理与其差异不显著,CK、N、NK、NP、PK、SNPK 处理 H-LOM 显著低于撂荒处理,$MNPKW_2$、1.5MNPK、2MNPK 处理 H-LOM 含量显著高于撂荒处理。

2.3 长期施肥对土壤中活性有机质含量的影响

黑土中活性有机质(M-LOM)含量为 0.39 ~ 5.10 g kg^{-1},占总活性有机质的 6.50% ~ 46.78%,约占土壤有机质的 1.59% ~ 12.32%(图 2)。在长期不同施肥管理措施下,中活性有机质含量差异显著。其中,CK 处理、N 处理、NK 处理、NP 处理、PK 处理中活性有机质含量最低,且处理间差异不显著;秸秆还田配施无机肥 SNPK 处理中活性有机质含量高于 NPK 处理,CK_0处理的中活性有机质含量介于 SNPK 处理与 NPK 处理之间,且处理间差异显著;MNPK、1.5MNPK、2MNPK 处理中活性有机质含量依次升高,处理间差异显著。

2.4 长期施肥对土壤低活性有机质含量的影响

黑土有机质含量受施肥因素影响明显,而活性有机质含量受施肥影响更为显著,王晶等[17]指出土壤碳库的变化主要发生在活性有机质碳库中。低活性有机质含量为 2.45 ~ 11.36 g kg^{-1},约占总活性有机质的 34.46% ~ 76.26%,土壤有机质含量的 8.71% ~ 27.45%(图 2)。其中,秸秆还田配施无机肥 SNPK 处理、NPK 处理与 PK 处理低活性有机质含量较对照处理 CK 低;N 处理、NK 处理、NP 处理与对照 CK 处理低活性有机质含量之间无显著性差异;MNPK 处理、$MNPKW_2$处理、1.5MNPK 处理、2MNPK 处理中低活性有机质含量依次升高,处理间差异显著;撂荒处理的低活性有机质介于 MNPK 处理和 $MNPKW_2$处理之间。



注:不同处理间相同活性程度的有机质上面标注相同字母表示在 5% 水平差异不显著 Note: The same letters mean difference is not significant at the 0.05 level (LSD) to different fertilizer treatments

图 2 不同施肥处理土壤活性有机质的含量

Fig. 2 Labile organic matter content in soil relative to fertilizer treatments

2.5 不同施肥处理下土壤活性有机质的组分特征

由图 3 可以看出,占土壤有机质含量最多的组分为非活性有机质(N-LOM),其含量主要集中在 18.07 ~ 28.54 g kg^{-1}之间,N-LOM 占了各自土壤有机质含量的 50.11% ~ 80.54%,其中 CK 和 N、NK、NP、PK、NPK、SNPK 处理 N-LOM 所占土壤有机质的比重较大,均达到 75%,而 CK_0和 MNPK、$MNPKW_2$、1.5MNPK、2MNPK 处理 N-LOM 所占土壤有机质的比重较小,均在 70% 以下,2MNPK 处理 N-LOM 所占土壤有机质的比重最小为 50%。

活性有机质占土壤有机质的比例较小,但对施肥措施的响应比较明显,活性有机质在不同处理间差异明显。在三种活性有机质中,L-LOM 所占的比重最大为 8.71% ~ 27.45%,其次是 M-LOM 和 H-LOM 所占土壤有机质的比重分别为 1.59% ~ 12.32% 和 3.80% ~ 10.28%。这与刘颖等[18]对东北黑土活性有机质的研究结果有所差异,测定结果显示中活性有机质中 M-LOM 所占比重远远高于低

活性有机质中 L-LOM。在所有的施肥处理中只有 N 与 PK 处理的土壤总活性有机质含量较不施肥处理(CK)低;NK、NP、NPK 处理的土壤总活性有机质含量与 CK 相比差异不显著;SNPK、MNPK、MNPKW$_2$、1.5MNPK、2MNPK 处理总活性有机质含量较 CK 处理土壤总活性有机质含量高,且这几个处理土壤总活性有机质的含量依次增加,处理间差异显著;撂荒处理的活性有机质较 CK 处理高,与 MNPK 处理土壤总活性有机质含量差异不显著。

总体而言,随着土壤有机质含量的增加,N-LOM 所占的比重降低,LOM 的比重增加;施用化肥处理 N-LOM 所占的比重较高,对应 LOM 的比重较低;而施用有机肥处理的 N-LOM 所占土壤有机质的比重较低,对应的 LOM 比重较高。说明有机肥的施入增大了活性有机质的比重,提高了土壤有机质的质量。

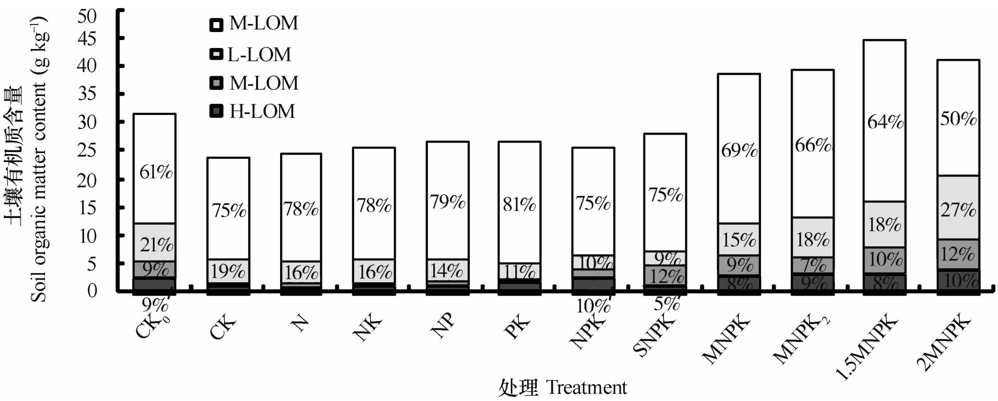


图 3 不同施肥处理下土壤有机质的组分

Fig. 3 Component of soil organic matter relative to fertilizer treatments

2.6 长期施肥对土壤碳库管理指数的影响

碳库指数、碳库活度、活度指数以及土壤碳库管理指数是一组相互关联的指标,它们在不同施肥措施下表现出来的规律与活性有机质相似(表 2、图 4)。

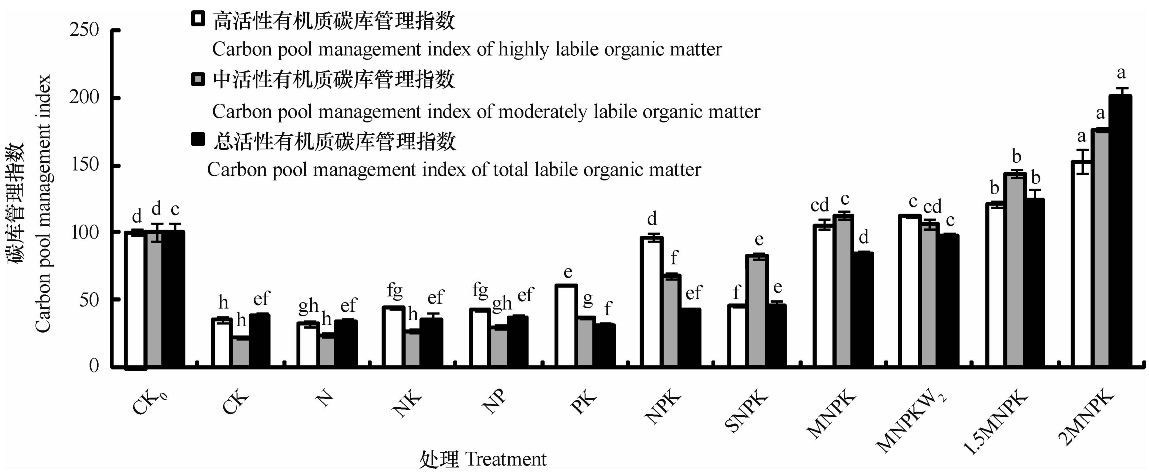
以撂荒处理土壤为参考,从表 2 中可以清楚地看出不仅是 CK、单施化肥,还包括秸秆还田配施 NPK 肥,其碳库管理指数均远远低于撂荒处理,CK 处理中活性有机质碳库管理指数仅为 22.8,表明长期单施化肥和秸秆还田措施下不利于黑土活性有机质的提高和碳库管理指数的增加。MNPK、1.5MNPK、2MNPK 高活性有机质碳库管理指数分别为 105.6、121.1、152.3,中活性有机质的碳库管理指数分别为 112.8、144.1、176.6,总活性有机质的碳库管理指数分别为 85.04、124.38、201.22。以上结果大体表现出有机无机肥配施的碳库管理指数显著提高,且随着有机肥施用量的增加碳库管理指数提升的效果越明显,这与 Lal 等[19]得出的结论相似。MNPK 处理下高活性有机质、中活性有机质的碳库管理指数显著高于参考土壤,而总活性有机质碳库管理指数却低于参考土壤,说明在 MNPK 处理中增加较多的是高活性有机质和中活性有机质含量,总活性有机质含量增加的相对较少。对于 MNPK、MNPKW$_2$ 处理,施肥处理相同只是耕作方式不同,在土壤有机质含量没有显著差异的情况下,MNPKW$_2$ 活性有机质碳库管理指数均高于 MNPK,表明大豆-玉米轮作增加了活性有机质的相对含量。

对于 CK 和单施化肥处理,只有 NPK 处理的高活性有机质碳库管理指数与撂荒土壤差异不大,其他处理不同活性有机质碳库管理指数均明显低于撂荒土壤,CK 处理的 M-LOM 的碳库管理指数仅为 22.08。这足以表明不施肥或者只施入化肥严重地影响了土壤有机质的质量,使得土壤活性有机质相对数量减少,碳库管理指数降低。而秸秆还田处理土壤有机质含量较 NPK 处理高,而其碳库管理指数并没有比 NPK 处理高,徐明岗等[10]和曾骏等[20]在红壤上也得到同样的结果,表明秸秆还田处理对提高土壤有机质含量有一定的效果,对提高活性有机质效果不明显。

表 2　长期不同施肥处理下碳库指数、碳库活度、活度指数、碳库管理指数

Table 2　CPI、L、LI、CPMI in soils under long-term fertilization relative to different fertilizer treatment

处理 Treatment	碳库指数 Carbon pool index CPI	高活性有机质 Highly labile organic matter			中活性有机质 Moderately labile organic matter			总活性有机质 Total labile organic matter		
		碳库活度 L	活度指数 LI	碳库管理指数 CPMI	碳库活度 L	活度指数 LI	碳库管理指数 CPMI	碳库活度 L	活度指数 LI	碳库管理指数 CPMI
CK_0	1.00	0.10	1.00	100.0	0.21	1.00	100.0	0.65	1.00	100.0
CK	0.76	0.04	0.46	34.89	0.06	0.29	22.08	0.33	0.51	38.46
N	0.78	0.04	0.41	32.00	0.06	0.30	23.67	0.28	0.43	33.96
NK	0.81	0.05	0.54	43.95	0.07	0.33	26.68	0.29	0.45	36.24
NP	0.84	0.05	0.56	42.20	0.08	0.38	29.42	0.33	0.51	36.85
PK	0.85	0.07	0.71	60.58	0.09	0.43	36.29	0.24	0.37	31.57
NPK	0.81	0.11	1.18	96.27	0.18	0.83	67.72	0.34	0.52	42.32
SNPK	0.89	0.05	0.52	45.67	0.20	0.93	82.43	0.34	0.52	46.42
MNPK	1.23	0.08	0.86	105.6	0.20	0.92	112.8	0.45	0.69	85.04
$MNPKW_2$	1.26	0.09	0.89	111.8	0.18	0.85	106.1	0.51	0.78	98.11
1.5MNPK	1.42	0.08	0.86	121.1	0.22	1.02	144.1	0.57	0.88	124.4
2MNPK	1.31	0.11	1.17	152.3	0.29	1.35	176.6	1.00	1.54	201.2



注:相同字母表示不同施肥处理同一活性程度有机质碳库管理指数在 5% 水平差异不显著 Note:The same letters mean difference is not significant at the 0.05 level (LSD) to different fertilizer treatments

图 4　不同施肥处理下的碳库管理指数

Fig. 4　Carbon pool management index relative to fertilizer treatments

3　讨　论

本研究发现长期不同施肥措施的土壤有机质含量与初始土壤有机质含量相比均有不同程度的提高,而较多的前人研究发现不施肥、单独施化肥会导致土壤有机质含量降低[19],主要的原因可能是植物根系对土壤有机质的补充,进入土壤中的植物残体或根系分泌物量大,有效地对土壤有机质进行了补充。一年生栽培作物每年进入土壤有机物质累积量约为 3 ~4 t hm^{-2}[21],在不同的生物、气候条件下,土壤有机质累积的数量差异很大,东北地区种植制度为一年一季,生育期较长,且生育处在雨热同期的季节,有利于有机物质的积累,维持了土壤有机质的含量;且东北公主岭同处中温带,气候寒冷,每年适宜于土壤微生物活动的时间相对较

短,土壤有机质被分解的速率较小,有利于土壤有机碳的保持。张璐等[22]在对东北黑土土壤有机质的研究中也得到相似的结果,在其试验所有处理下土壤有机质含量均没有下降,说明了黑土的自然地力能够维持作物生产对土壤有机质的消耗。而许多研究结果与此不同,柳影等[23]的研究结果表明,在种植玉米作物的东北黑土在不施肥或者单施化肥措施下土壤有机质含量有所下降,隋跃宇等[24]的研究结果表明,在小麦-玉米-大豆轮作中不施肥措施下黑土土壤有机质含量在下降,李新爱等[25]的试验结果表明,与试验前土壤有机质相比,长期不施肥土壤有机质含量呈下降趋势,仅依靠作物根茬、根系分泌物等作物归还难以维持土壤原有的有机质水平。

在长期施肥措施下,有机肥与化肥配施的施肥措施能显著提高土壤活性有机质的含量,秸秆还田、不施肥、单施化肥处理土壤不同活性程度的土壤有机质含量较低,这与前人研究的结论相似[10-13,16],撂荒处理、有机肥与无机肥配施处理活性有机质含量较高,其原因可能是不施肥和单施化肥处理没有有机物料的投入,而秸秆还田处理效果不明显的原因还需要进一步的探究。本研究将土壤有机质进行分类,将土壤有机质用 33 mmol L^{-1}、167 mmol L^{-1}和 333 mmol L^{-1}的 $KMnO_4$分为四部分,并对该四部分有机质组分所占的比例进行研究,结果表明非活性有机质占了土壤有机质的大部分;活性有机质中,L-LOM 所占的比重最大为 9%~27%,其次是 M-LOM 和 H-LOM 所占土壤有机质的比重分别为 2%~12% 和 4%~10%,活性有机质含量处理间差异明显。表明施肥因素主要影响了土壤有机质中的活性有机质,这与徐明岗等[10]在红壤的研究相类似,张瑞等[26]在对华北平原活性有机质的研究中也得到了单施有机肥或与化肥配施对土壤活性有机质的提升效果优于单施化肥处理。

以长期撂荒处理为参考土壤研究碳库管理指数发现只有 1.5MNPK、2MNPK 两个处理三种不同活性有机质的碳库管理指数均大于 100,MNPK、$MNPKW_2$处理高活性、中活性有机质碳库管理指数大于 100,其他的碳库管理指数均小于 100。表明施肥对土壤有机质组分分布产生了很大影响,单施无机化肥在长期培肥土壤中效果不佳,无机化肥与有机肥配施才能提高土壤有机质的含量,增加土壤有机质,增大土壤活性有机质的比重,提高土壤碳库管理指数。

4 结 论

用 33 mmol L^{-1}、167 mmol L^{-1}和 333 mmol L^{-1}的 $KMnO_4$将黑土土壤有机质分成不同活性组分,并对其含量及其分布和碳库管理指数进行探究,结果表明,黑土农田长期耕种后,不同施肥处理的土壤活性有机质及其碳库管理指数发生了显著的变化,得出结论如下:在土壤有机质组分中非活性有机质所占比重最大,其次为低活性有机质,比重最少的为中、高活性有机质。施肥措施影响土壤有机质主要是通过对活性有机质的影响来实现的,采用有机肥与无机肥配施的施肥方式或者适当的撂荒可以提高黑土土壤中的高、中、低活性有机质含量,总活性有机质占土壤有机质比例增加,维持或者增加高、中、低活性有机质及总有机质碳库管理指数。因此在黑土有机质培肥土壤中,提升黑土质量、增加活性有机质含量、提高碳库管理指数的有效措施是采取有机无机肥配合施用。

参 考 文 献

[1] Amelung W, Flach K W, Zech W. Climatic effects on soil organic matter composition in the great plains. Soil Science Society of America Journal, 1997, 61:115—123

[2] Melillo J M, Kicklighter D W, McGuire A D, et al. Global change and its effects on soil organic carbon stocks. Daily and Nocturnal Hemodialysis, 1995, 16:175—189

[3] Reeves D W. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. Soil & Tillage Research, 1997, 43:131—167

[4] Loveland P, Webb J. Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: A review. Soil & Tillage Research, 2003, 70:1—18

[5] Rodrigo A, Recous S, Neel C, et al. Modelling temperature and moisture effects on C-N transformations in soils: Comparison of nine models. Ecological Modelling, 1997, 102:325—339

[6] Fierer N, Craine J M, McLauchlan K, et al. Litter quality and the temperature sensitivity of decomposition. Ecology, 2005, 86: 320—326

[7] Blair G J, Lefory R D B, Lisle L. Soil carbon fractions basedon their degree of oxidation and the development of a carbon management index for agricultural systems. Australian Journal of Agricultural Research, 1995, 46:1459—1466

[8] Whitbread A M, Lefroy R D B, Blair G J. A survey of the impact of cropping on soil physical and chemical properties in northwestern New South Wales. Australian Journal of Soil Research, 1998, 36: 669—681

[9] Logninow W, Wisniewski W, Strony W M, et al. Fractionation

of organic carbon based on susceptibility to oxidation. Polish Journal of Soil Science, 1987, 20: 47—52

[10] 徐明岗, 于荣, 王伯仁, 等. 长期不同施肥下红壤活性有机质与碳库管理指数变化. 土壤学报, 2006, 43(5): 723—729. Xu M G, Yu R, Wang B R, et al. Labile organic matter and carbon management index in red soil under long-term fertilization (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2006, 43(5): 723—729

[11] 沈宏, 曹志洪, 王志明. 不同农田生态系统土壤碳库管理指数的研究. 自然资源学报, 1999, 14(3): 206—211. Shen H, Cao Z H, Wang Z M. Study of carbon pool management index in soils under different agroecosystems (In Chinese). Journal of Natural Resources, 1999, 14(3): 206—211

[12] 王晶, 朱平, 张男, 等. 施肥对黑土活性有机碳和碳库管理指数的影响. 土壤通报, 2003, 34(5): 394—397. Wang J, Zhu P, Zhang N, et al. Effect of fertilization on soil active C and C pool management index of black soil (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 2003, 34(5): 394—397

[13] 王琳, 李玲玲, 高立峰, 等. 长期保护性耕作对黄绵土总有机碳和易氧化有机碳动态的影响. 中国生态农业学报, 2013, 21(9): 1057—1063. Wang L, Li L L, Gao L F, et al. Effect of long-term conservation tillage on total organic carbon and readily oxidizable organic carbon in loess soils (In Chinese). Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2013, 21(9): 1057—1063

[14] 王丹丹, 周亮, 黄胜奇, 等. 耕作方式与秸秆还田对表层土壤活性有机碳组分与产量的短期影响. 农业环境科学学报, 2013, 32(4): 735—740. Wang D D, Zhou L, Huang S Q, et al. Short-term effects of tillage practices and wheat-straw returned to the field on topsoil labile organic carbon fractions and yields in central China (In Chinese). Journal of Agro-Environment Science, 2013, 32(4): 735—740

[15] 中国科学院林业土壤研究所. 中国东北土壤. 北京: 科学出版社, 1980. The Institute of Forestry Soil, the Chinese Academy of Sciences. The Northeast China soil (In Chinese). Beijing: Science Press, 1980

[16] 鲍士旦. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 2008. Bao S D. Analysis of soil and agro-chemistry (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 2008

[17] 王晶, 解宏图, 朱平, 等. 土壤活性有机质(碳)的内涵和现代分析方法概述. 生态学杂志, 2003, 22(6): 109—112. Wang J, Xie H T, Zhu P, et al. Cannotation and modern analysis method for active soil organic matter (carbon) (In Chinese). Chinese Journal of Ecology, 2003, 22(6): 109—112

[18] 刘颖, 周连仁, 苗淑杰, 等. 长期施肥对黑土活性有机质的影响. 水土保持通报, 2009, 29(3): 133—136. Liu Y, Zhou L R, Miao S J, et al. Effects of long-term fertilization on active organic matters in black soil (In Chinese). Bulletin of Soil and Water Conservation, 2009, 29(3): 133—136

[19] Lal R, Kimble J M, Follett R F, et al. Soil processes and the carbon cycle. Boca Raton: CRC Press LLC, 1997

[20] 曾骏, 郭天文, 于显枫, 等. 长期施肥对土壤活性有机碳和碳库管理指数的影响. 土壤通报, 2011, 42(4): 812—815. Zeng J, Guo T W, Yu X F, et al. Effect of fertilization on soil active C and C pool management index (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 2011, 42(4): 812—815

[21] 窦森. 土壤有机质. 北京:科学出版社, 2010. Dou S. Soil organic matter (In Chinese). Beijing: Science Press, 2010

[22] 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. 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 change of labile organic carbon in three typical upland soils of China (In Chinese). Scientia Agricultura Sinica, 2009, 42(5): 1646—1655

[23] 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. 中国土壤与肥料, 2011, 5:7—11. Liu Y, Peng C, Zhang H M, et al. Dynamic change of organic matter in the black soil under long-term fertilization (In Chinese). Soil and Fertilizer Sciences in China, 2011, 5:7—11

[24] 隋跃宇, 张必义, 焦晓光, 等. 长期不同施肥制度对农田黑土有机质和氮素的影响. 水土保持学报, 2005, 19(6): 190—192, 200. Sui Y Y, Zhang B Y, Jiao X G, et al. Effect of long-term different fertilizer applications on organic matter and nitrogen of black farmland (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2005, 19(6): 190—192, 200

[25] 李新爱, 童成立, 蒋平, 等. 长期不同施肥对稻田土壤有机质和全氮的影响. 土壤, 2006, 38(3): 298—303. Li X A, Tong C L, Jiang P, et al. Effects of long-term fertilization on soil organic matter and total nitrogen in paddy soil (In Chinese). Soils, 2006, 38(3): 298—303

[26] 张瑞, 张贵龙, 姬艳艳. 不同施肥措施对土壤活性有机碳的影响. 环境科学, 2013, 34(1): 277—282. Zhang R, Zhang G L, Ji Y Y. Effects of different fertilizer application on soil active organic carbon (In Chinese). Environmental Science, 2013, 34(1): 277—282

EFFECT OF LONG-TERM FERTILIZATION ON LABILE ORGANIC MATTER IN AND CARBON POOL MANAGEMENT INDEX OF BLACK SOIL

He Cuicui[1] Wang Ligang[1] Wang Yingchun[1†] Zhang Wen[1] Yang Xiaohui[2]

(1 *Key Laboratory of Non-point Source Pollution Control, Ministry of Agriculture / CAAS-UNH Joint Laboratory for Sustainable Agro-ecosystem Research / Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing* 100081, *China*)

(2 *Station of Plant Protection of Zhenlai County, Baicheng, Jilin* 137000, *China*)

Abstract Black soil plays a crucial role in food security and sustainable development of the ecology in China. In the past 50 years the content of soil organic matter (SOM) in the black soil in Northeast of China has been decreasing, thus posing a critical problem of how to maintain its productivity, which has become a hot spot in agricultural science. Based on the long-term stationary fertilization field experiment, variation of soil fertility of and fertilizer efficiency in black soil as affected by long-term fertilization was explored and effects of long-term fertilization on content of soil labile organic matter and carbon pool management index were evaluated. This experiment was laid out in 1990 and designed to have 12 treatments, i. e. CK_0, CK, N, NP, NK, PK, NPK, SNPK, MNPK, $MNPKW_2$, 1.5MNPK and 2MNPK. All the treatments have the same cropping pattern, mono-cropping of maize, except for Treatment $MNPKW_2$, which follows a maize-maize-soybean rotation system. In 2013, soil samples were collected from the topsoil (0 ~ 20cm) layer for analysis of labile soil organic matter. Contents of three fractions of labile organic matter, namely highly labile organic matter (H-LOM), moderately-labile organic matter (M-LOM) and low-labile organic matter (L-LOM) were determined using 33 mmol L^{-1}, 167 mmol L^{-1} and 333 mmol L^{-1} $KMnO_4$, respectively. Results show that contents of soil organic matter in all the fertilized treatments increased to a varying extent. Compared with the initial content (23.3 g kg^{-1}) of soil organic matter (SOM), it increased by 35.6% in Treatment CK_0, by 10% ~ 15% in Treatments N, NP, NK, PK and NPK, the least in increment, by 20% in Treatment SPNK (NPK plus straw incorporation), and by 66.38% ~ 92.13% in Treatments MNPK, $MNPKW_2$, 1.5MNPK and 2MNPK, the most significant increment.

The content of H-LOM, M-LOM and L-LOM were 0.94 ~ 4.18 g kg^{-1}, 0.39 ~ 5.10 g kg^{-1} and 2.45 ~ 11.36 g kg^{-1}, respectively, accounting for 4% ~ 10%, 1.59% ~ 10.28% and 8.71% ~ 27.45% of the total organic matter, respectively. The content of H-LOM, M-LOM and L-LOM in organic fertilizers treatments, were higher than their corresponding ones in the other treatments, and the more the organic manure applied, the higher, the contents of SOM. The contents of the three fractions of SOM were low mere chemical, fertilizers and Treatment CK, and did not vary much between those treatments. However, Treatment CK_0 and Treatment MNPK did not differ much in content of H-LOM, M-LOM and L-LOM, suggesting that fallow had a significant SOM increasing effect.

Carbon pool management index (CPMI) is an important parameter to characterize status of soil nutrients. Treatment CK_0. did not have much improvement in CPMI of LOM, whereas Treatment 2MNPK exceeded 200, the highest among all the treatments. For M-LOM, CPMI was 22.08 in Treatment CK, lower than any other treatments. Compared with Treatment CK, Treatments N, NK, NP, and PK did not improve much in CPMI, but Treatments NPK, SNPK, MNPK, $MNPKW_2$, 1.5MNPK, 2MNPK and CK_0 did quite significantly, with the highest CPMI being 176.64 in Treatment 2MNPK. On the whole, in terms of CPMI, the treatments followed an order of organic fertilizers > fallow land > straw incorporation (SNPK) > mere chemical fertilizers (N, NP, NK, PK, NPK). For organic treatments, the more the organic manure applied, the higher the CPMI. CPMI was higher in Treatment $MNPKW_2$ than in Treatment MNPK, suggesting that the maize-maize-soybean rotation system is a good way to improve CPMI.

Key words Black soil; Soil labile organic matter; Carbon pool management index

（责任编辑：檀满枝）

土　壤　学　报

（Turang Xuebao）

第52卷　第1期　　2015年1月

目　　次

封面图片:黄土坡面细沟形态发育过程(由吴淑芳提供)

ACTA PEDOLOGICA SINICA Vol. 52 No. 1 Jan. ,2015

CONTENTS

Cover Picture: Rill morphological development process on loess slope (by Wu Shufang)