

长期不同施肥下红壤活性有机质与碳库管理指数变化*

徐明岗 于 荣 王伯仁

(中国农业科学院土壤肥料研究所,北京 100081)

摘 要 对长期不同施肥 5 a 和 10 a 后红壤活性有机质进行了测定,结果表明,耕作 10 a 不施肥或仅施化肥(CK、N、NP、NK、PK、NPK)的土壤活性有机质(LOM)及碳库管理指数(CMI)都明显下降,最大下降(CK)分别为 40.5%和 48.1;而有机肥或有机肥化肥配合施用(M、MNP、1.5MNP),LOM 和 CMI 则显著升高,最大升高(1.5MNP)分别为 183%和 195;秸秆还田(SNP)处理 LOM 和 CMI 先下降后增加,5 a 分别下降 25.2%和 31,10 a 又分别上升 17.9%和 13。说明化肥主要提高非活性有机质,有机肥则显著改善土壤有机质质量,秸秆还田对提高红壤有机质质量比有机肥慢。用 33 mmol L⁻¹、167 mmol L⁻¹、333 mmol L⁻¹ KMnO₄测定的三种活性有机质(本文分别称其为高活性有机质 HLOM、中活性有机质 MLOM 和活性有机质 LOM)的含量依次增加,分别占总有机质的 5.6%、9.6%和 14.5%。三种活性有机质之间呈显著或极显著相关,HLOM 与 MLOM 相关系数为 0.478^{*},HLOM 与 LOM 为 0.592^{**},MLOM 与 LOM 为 0.716^{**}。作物产量只与 MLOM 和 LOM 极显著相关,相关系数分别为 0.821^{**}和 0.602^{**},而和总有机质没有显著的相关性。同时,LOM 及 CMI 与土壤阳离子交换量、交换性钾、交换性钙、盐基总量、微量元素等呈显著或极显著正相关,但总有机质与上述土壤化学指标相关性差。这些结果暗示 LOM 和 CMI 比总有机质更能客观反映土壤肥力和土壤质量的变化情况,应该成为描述土壤质量和评价土壤管理的良好指标。

关键词 红壤;活性有机质;碳库管理指数

中图分类号 S153.3 **文献标识码** A

土壤有机质是土壤肥力的重要指标,它影响土壤的物理、化学及生物性质,前人对此已作过大量研究^[1]。但土壤有机质的数量不能很好地反映土壤有机质质量的变化,它只是一个矿化分解和合成的平衡结果,不能反映转化速率等。土壤有机质虽然未被当作一种营养元素直接供植物吸收利用,但它在土壤肥力方面起着关键性的作用,于是许多科学家提出将土壤有机质区分为全量和活性(有效)部分。目前,国外已经对此进行了大量的研究,较有代表性的有 Jenkinson 和 Rayner^[2]采用放射性碳年龄法,按照有机质的分解难易程度,将有机质分为五个子库;Logninow 等^[3]提出 KMnO₄氧化法,根据有机质被三种不同浓度的 KMnO₄(33 mmol L⁻¹、167 mmol L⁻¹、333 mmol L⁻¹)氧化的数量,将易氧化有机质分成高活性有机质、中活性有机质、活性有机质 3 个程度不同的级别。1995 年 Blair 等^[4]采用 KMnO₄氧化法测定活性有机质,表明这种活性有机质与土壤有效养

分如 N、P、K、Ca、Mg、微量元素等,以及与土壤的物理性状等具有密切的关系,并提出了土壤碳库管理指数(CMI)。Lefroy 和 Lisle^[5]研究发现被 333 mmol L⁻¹ KMnO₄氧化的有机质在种植作物时变化最大,因此将能被 333 mmol L⁻¹ KMnO₄氧化的有机质称作活性有机质(Labile organic matter, LOM),不能被氧化的称作非活性有机质(Non-labile organic matter, NLOM)。与全量有机质相比,由于 LOM 和 CMI 与土壤有效养分、土壤的物理性状、耕作措施等具有更密切的关系,因而现正在成为土壤质量及土壤管理评价指标^[2~6]。目前,我国对不同土壤碳库研究较多,对土壤活性有机质的研究还较少^[7,8],对长期施肥下土壤活性有机质和土壤碳库管理指标的研究更是鲜见报道。

红壤是我国南方 14 省(区)的重要土壤类型,总面积约 56.9 万 km²,占国土面积的 6.5%^[9],是我国粮食、经济作物、肉类产品的重要基地。本文是在对

* 国家重点科技攻关课题(2001BA508B14,2004BA520A13)、国家红壤农业生态站和中国农业科学院院长基金资助。本研究部分分析在农业部植物营养与养分循环重点开放室完成

作者简介:徐明岗(1961~),男,研究员,从事土壤化学与土壤肥力研究。E-mail:mgxu@caas.ac.cn

收稿日期:2005-05-20;收到修改稿日期:2005-10-26

长期不同施肥红壤肥力变化较系统研究的基础上^[10],探讨长期施肥对红壤活性有机质和碳库管理指数的影响,及活性有机质与土壤理化性质的相关性,为红壤质量评价和优化管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

本研究在国家红壤肥力与肥料效益长期监测基地的基础上进行。红壤监测基地位于湖南省祁阳县(东经 111°52'32",北纬 26°45'12"),海拔高度约 120 m;年平均温度 18.0℃,年降雨量 1250 mm,无霜期约为 300 d。试验地位于丘岗中部,为第四纪红土母质发育的耕性红壤。1990 年开始进行长期肥料试验。

试验设 11 个处理:(1)不施肥不种作物(CK₀);(2)不施肥(CK);(3)单施 N 肥(N);(4)施氮磷肥(NP);(5)施氮钾肥(NK);(6)施磷钾肥(PK);(7)施氮磷钾肥(NPK);(8)施有机肥(M);(9)施有机肥及 NPK 化肥(MNPK);(10)施增量有机肥及 NPK 肥(1.5MNPK);(11)作物秸秆还田并施 NPK 肥(SNPK)。田间小区面积为 196 m²,随机排列,2 次重复。一年二熟,轮作方式为小麦-玉米。施肥量为每年施纯氮 300 kg hm⁻²,N P₂O₅ K₂O=1 0.4 0.4,有机氮与无机氮之比为 7:3。施用有机肥的处理只考虑其中的氮和其他处理相同,不考虑磷、钾养分,有机肥料为猪粪。秸秆还田处理为每季作物秸秆的 1/2 还田,不考虑其养分。肥料在整地之前以基肥的形式一次施入。

试验开始时土壤的主要化学性质为:有机质 13.62 g kg⁻¹,全氮 1.07 g kg⁻¹,全磷(P₂O₅) 1.07 g kg⁻¹,全钾 13.7 g kg⁻¹,碱解氮 79.0 mg kg⁻¹,速效磷 13.9 mg kg⁻¹,pH 5.7。

采取该长期试验 5 a(1995 年)和 10 a(2000 年)的耕层土样(0~20 cm),分析其活性有机质含量及主要物理、化学性质。

1.2 活性有机质测定及 CMI 计算

用 KMnO₄ 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 高锰酸钾,振荡 1 h,然后在时速 2000 r min⁻¹下离心 5 min,将上清液用去离子水以 1:250 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,计算出高锰酸钾浓度的变化,并进而计算出氧化的碳量或有机质即活性有机质(氧化过程中 1 mmol L⁻¹ KMnO₄消耗 0.75 mmol L⁻¹ 或 9 mg 碳)。

试验中选择的 KMnO₄ 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、中活性有机质和活性有机质。土壤全量有机质用 K₂Cr₂O₇ 氧化法测定。所有土壤均以 1990 年的原始土壤为参照土壤。

CMI 计算方法为:

碳库指数(CPI) = 样品总有机质含量(g kg⁻¹) / 参考土壤总有机质含量(g kg⁻¹)

土壤碳的不稳定性,即碳库活度(L)等于土壤中的 LOC 与 NLOC 之比:

$L = \text{样本中的活性有机质(LOC)} / \text{样本中的非活性有机质(NLOC)}$

碳损失及其对稳定性的影响用活度指数(LI)表示:

$LI = \text{样本的不稳定性(L)} / \text{对照的不稳定性(L}_0\text{)}$

基于以上参数可以得到碳库管理指数(CMI):

$$CMI = CPI \times LI \times 100$$

1.3 土壤化学性质、土壤养分的测定

对上述样品,测定土壤的 pH、CEC、交换性盐基、土壤全氮、全磷、全钾、速效氮、速效磷、速效钾及微量元素含量,并进一步分析土壤活性有机质与土壤化学性质的相关性。主要化学性质测定方法如下:pH,电位法;CEC,NH₄OAc 法;交换性盐基,EDTA 容量法^[11]。

2 结果与分析

2.1 红壤长期施肥对活性有机质和 CMI 的影响

红壤活性有机质及 CMI 受施肥影响明显(表 1)。与原始土壤相比,连续耕作总有机质含量均呈上升趋势,但是,土壤活性有机质在总有机质中所占比例下降。不施肥或仅施化肥(CK₀, CK, N, NP, NK, PK, NPK)的土壤,虽然各处理间活性有机质和 CMI 的变化不明显,但是随耕作年限延长,基本都呈下降趋势,其中不施肥(CK)土壤下降最多,耕作 10 a 后活性有机质下降了 40.5%,CMI 下降了 48.1,表明不施肥或仅施化肥的土壤总有机质含量升高主要是其提高了土壤非活性有机质的含量。

表 1 长期不同施肥 5 a 和 10 a 后红壤的活性有机质 (333 mmol L⁻¹ KMnO₄) 与 CMITable 1 Labile organic matter (333 mmol L⁻¹ KMnO₄) and carbon management index (CMI) of the red soil after 5 and 10 years of fertilization and cultivation

处理 Treatment	施肥耕种 5 a 5-year fertilization and cultivation			施肥耕种 10 a 10-year fertilization and cultivation		
	总有机质 Total organic matter (TOM)	活性有机质 Labile organic matter (LOM)	碳库管理指数 Carbon management index (CMI)	总有机质 Total organic matter (TOM)	活性有机质 Labile organic matter (LOM)	碳库管理指数 Carbon management index (CMI)
	(g kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)		(g kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)	
CK ₀	14.48	2.69a	96.4a	23.60	2.27a	73.9a
CK	15.34	2.66a	93.7a	20.00	1.63a	51.9a
N	18.19	2.32a	77.6a	20.39	2.51a	83.9a
NP	15.60	2.55a	92.9a	21.81	2.63a	87.6a
NK	15.77	3.33a	123a	20.39	1.81a	58.0a
PK	15.86	2.53a	87.8a	20.50	2.32a	76.4a
NPK	15.86	2.21a	76.3a	20.34	1.94a	63.2a
MNPK	17.84	3.01a	107a	23.71	4.90b	180b
1.5MNPK	19.31	3.17a	111a	33.95	7.74c	295c
SNPK	15.52	2.05a	69.0a	23.00	3.23ab	113ab
M	20.43	2.75a	93.0a	26.84	5.20b	188b

注:原始土壤有机质 13.62 g kg⁻¹,活性有机质 2.74 g kg⁻¹;Original soil OM 13.62 g kg⁻¹,LOM 2.74 g kg⁻¹;数字后带有相同的小写字母表明 5%水平上差异显著 The same letter after the data means difference is not significant at the 0.05 level (LSD)

施用有机肥的 3 个处理其总有机质和活性有机质的含量均上升,碳库管理指数也升高,说明有机肥不仅能提高土壤有机质数量,而且能改善土壤有机质质量,从而提高土壤的综合生产力。有机无机肥配合(MNPK和1.5MNPK)的土壤活性有机质增加幅度较大,10 a CMI 分别上升 80 和 195,差异显著。有机肥与化肥配合不仅能显著改善土壤质量,而且作物高产稳产^[10],因而是提高土壤生产力的最好施肥方法。这些结果与张付申^[7]提出的在垆土和黄绵土中,单施化肥对土壤易氧化有机质和活性有机质作用不大,而施用有机肥和有机肥与化肥配合施用,易氧化有机质和活性有机质均增加的结论基本一致。

秸秆还田(SNPK)土壤的总有机质含量上升,施肥耕种 5 a 上升了 13.9%,10a 上升 68.9%。但其活性有机质在 5 a 后反而下降了 25.2%,碳库管理指数下降 31;10 a 后活性有机质则上升 17.9%,碳库管理指数上升了 13,表明秸秆还田对红壤旱地有机质质量有一定的促进作用,但其效果要比有机肥慢。

2.2 红壤长期施肥对中活性有机质及 CMI 的影响

与活性有机质相比,中活性有机质的含量相对较低,其含量在 1.21~3.08 g kg⁻¹之间(表 2)。不施肥和仅施化肥(CK₀、CK、N、NP、NK、PK、NPK),5 a 后红壤中活性有机质平均为 1.49 g kg⁻¹,占有有机质总

量的 9.4%,CMI 为 71.5;10 a 后中活性有机质平均为 1.53 g kg⁻¹,占有有机质总量的 7.3%,CMI 为 71.4。与初始土壤相比,10 a 后红壤中活性有机质含量下降 0.45 g kg⁻¹,CMI 下降 29.6。施用有机肥的 3 个处理,5 a 和 10 a 比较,土壤中活性有机质含量基本没有变化,平均为 2.56 g kg⁻¹。秸秆还田(SNPK)10 a,红壤中活性有机质从 5 a 的 1.88 g kg⁻¹下降到 1.57 g kg⁻¹,下降了 16.5%,CMI 下降了 20 左右。可见,秸秆还田对提高红壤总有机质有作用,但不能增加土壤中活性有机质。

2.3 红壤长期施肥对高活性有机质及 CMI 的影响

红壤高活性有机质含量为 0.68~1.59 g kg⁻¹,低于中活性有机质含量(表 3)。不同施肥处理比较,高活性有机质含量除施有机肥处理有所增加外,其余处理均有所下降。其中下降最大的是对照(CK),5 a 耕作其高活性有机质含量下降了 43.8%,CMI 下降了 46.2。施肥耕作 10 a 与 5 a 相比,所有处理的高活性有机质含量均有所上升,并趋于一致。这说明红壤高活性有机质在开始 5 a 变化较大,10 a 后趋向于稳定。类似结果倪进治等^[8]也有报道,他们分离不同施肥潮土活性有机质组分,发现有机物施用后,土壤活性有机质在开始时迅速达到较高值,随着时间的推移下降并趋于稳定。

表 2 长期不同施肥 5 a 和 10 a 后红壤的中活性有机质 ($167 \text{ mmol L}^{-1} \text{ KMnO}_4$) 与 CMITable 2 Mid-labile organic matter ($167 \text{ mmol L}^{-1} \text{ KMnO}_4$) and carbon management index (CMI) of the red soil after 5 and 10 years of fertilization and cultivation

处理 Treatment	施肥耕种 5 a 5-year fertilization and cultivation			施肥耕种 10 a 10-year fertilization and cultivation		
	总有机质 Total organic matter (TOM)	中活性有机质 Mid-labile organic matter (MLOM)	碳库管理指数 Carbon management index (CMI)	总有机质 Total organic matter (TOM)	中活性有机质 Mid-labile organic matter (MLOM)	碳库管理指数 Carbon management index (CMI)
	(g kg^{-1})	(g kg^{-1})		(g kg^{-1})	(g kg^{-1})	
CK ₀	14.48	1.27ab	60.3ab	23.60	1.80d	84.0d
CK	15.34	1.21a	57.0a	20.00	1.45ab	67.6ac
N	18.19	1.40ab	65.4ab	20.39	1.53ac	71.6ac
NP	15.60	1.75cd	85.0cd	21.81	1.69cd	79.2cd
NK	15.77	1.54bc	73.4bc	20.39	1.40ab	65.1ab
PK	15.86	1.41ab	66.7ab	20.50	1.30a	60.1a
NPK	15.86	1.88de	92.3de	20.34	1.55bc	72.4bcd
MNPK	17.84	2.71f	138.1f	23.71	2.23e	106.1e
1.5MNPK	19.31	2.83f	143.4f	33.95	3.08f	146.1f
SNPK	15.52	1.88de	92.2de	23.00	1.57bcd	72.8bcd
M	20.43	2.13e	102.9e	26.84	2.38e	112.8e

注:原始土壤有机质 13.62 g kg^{-1} , 中活性有机质 1.98 g kg^{-1} Original soil OM 13.62 g kg^{-1} , MLOM 1.98 g kg^{-1} ; 数字后带有相同的小写字母表明 5% 水平上差异显著 The same letter after the data means difference is not significant at the 0.05 level (LSD)

表 3 长期不同施肥 5 a 和 10 a 后红壤的高活性有机质 ($33 \text{ mmol L}^{-1} \text{ KMnO}_4$) 与 CMITable 3 Highly labile organic matter ($33 \text{ mmol L}^{-1} \text{ KMnO}_4$) and carbon management index (CMI) of the red soil after 5 and 10 years of fertilization and cultivation

处理 Treatment	施肥耕种 5 a 5-year fertilization and cultivation			施肥耕种 10 a 10-year fertilization and cultivation		
	总有机质 Total organic matter (TOM)	高活性有机质 Highly labile organic matter (HLOM)	碳库管理指数 Carbon management index (CMI)	总有机质 Total organic matter (TOM)	高活性有机质 Highly labile organic matter (HLOM)	碳库管理指数 Carbon management index (CMI)
	(g kg^{-1})	(g kg^{-1})		(g kg^{-1})	(g kg^{-1})	
CK ₀	14.48	0.99de	80.4d	23.60	1.12ab	88.9a
CK	15.34	0.68a	53.8a	20.00	1.07a	85.5a
N	18.19	0.87bc	68.4bc	20.39	1.11ab	88.7a
NP	15.60	0.88bc	70.0bc	21.81	1.15ab	91.0a
NK	15.77	0.89bcd	70.7bc	20.39	1.09ab	87.1a
PK	15.86	0.80b	63.2ab	20.50	1.26c	100.7b
NPK	15.86	0.87bc	69.2bc	20.34	1.43d	115.9c
MNPK	17.84	0.96cde	76.6cd	23.71	1.59e	127.9d
1.5MNPK	19.31	1.22f	97.8e	33.95	1.57e	124.2cd
SNPK	15.52	0.81b	64.5b	23.00	1.18bc	93.4ab
M	20.43	1.05e	83.2d	26.84	1.41d	112.3c

注:原始土壤有机质 13.62 g kg^{-1} , 高活性有机质 1.21 g kg^{-1} Original soil OM 13.62 g kg^{-1} , HLOM 1.21 g kg^{-1} ; 数字后带有相同的小写字母表明 5% 水平上差异显著 The same letter after the data means difference is not significant at the 0.05 level (LSD)

2.4 红壤长期施肥不同活性有机质与总有机质及作物产量的相关性

对表 1 至表 3 红壤三种不同程度的活性有机质与总有机质、碳库管理指数 (CMI) 及作物产量进行相关分析 (表 4), 结果表明, 三种活性有机质之间都显著或极显著相关, 它们与 CMI 也存在显著或极显著相关关系, 相关系数分别为: 高活性有机质与中活性有机质 0.478^{*}, 高活性有机质与活性有机质 0.592^{**}, 中活性有机质与活性有机质 0.716^{**}。可见, 三种活性有机质之间, 以活性有机质和中活性有机质的关系最为密切。而 CMI 与各活性有机质的相关性为高活性有机质 (1.000^{**}) >> 活性有机质 (0.576^{**}) > 中活性有机质 (0.472^{*})。

总有机质与三种活性有机质及 CMI 也有显著

或极显著的相关性, 其中, 高活性有机质和活性有机质与总有机质的相关性最高, 相关系数分别为 0.846^{**}和 0.782^{**}, 达到了极显著相关; 中活性有机质与总有机质显著相关, 相关系数为 0.537^{*}。三种活性有机质与总有机质的相关性说明, 活性有机质既区别于总有机质又与总有机质紧密相连, 它们是土壤总有机质的一部分。

表 4 显示作物产量只与中活性有机质和活性有机质极显著相关, 相关系数分别为 0.821^{**}和 0.602^{**}, 而与高活性有机质、总有机质及 CMI 没有显著的相关性, 说明活性有机质和中活性有机质, 比总有机质更能准确反映土壤肥力和土壤质量的变化, 是描述土壤质量和评价土壤管理的良好指标。

表 4 红壤活性有机质与总有机质及作物产量的相关系数 (皮尔逊双侧显著检验)

Table 4 Correlation coefficients between labile organic matter and total organic matter and crop yield in red soil (Pearson 2-tailed test of significance)

项目 Item	作物产量 Crop yield	高活性有机质 Highly labile organic matter	中活性有机质 Mid-labile organic matter	活性有机质 Labile organic matter	碳库管理指数 Carbon management index	总有机质 Total organic matter
作物产量 Crop yield	1	0.374	0.821 ^{**}	0.602 ^{**}	0.372	0.326
高活性有机质 Highly labile organic matter	0.374	1	0.478 [*]	0.592 ^{**}	1.000 ^{**}	0.846 ^{**}
中活性有机质 Mid-labile organic matter	0.821 ^{**}	0.478 [*]	1	0.716 ^{**}	0.472 [*]	0.537 [*]
活性有机质 Labile organic matter	0.602 ^{**}	0.592 ^{**}	0.716 ^{**}	1	0.576 ^{**}	0.782 ^{**}
碳库管理指数 Carbon management index	0.372	1.000 ^{**}	0.472 [*]	0.576 ^{**}	1	0.831 ^{**}
总有机质 Total organic matter	0.326	0.846 ^{**}	0.537 [*]	0.782 ^{**}	0.831 ^{**}	1

* 在 0.05 水平上相关性显著 ($n = 11$); ** 在 0.01 水平上相关性显著 ($n = 11$) * Correlation is significant at the 0.05 level ($n = 11$);

** Correlation is significant at the 0.01 level ($n = 11$)

2.5 红壤化学性质与活性有机质的关系

对施肥 10 a 红壤的化学性质和活性有机质及 CMI 进行相关分析, 结果表明 (表 5, 表 6), 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; 高活性有机质与阳离子交换量呈显著相关。CMI 与阳离子交换量和土壤交换性钾呈显著相关; 同时土壤活性有机

质和 CMI 与土壤全量氮、磷、有效氮及微量元素、pH 等化学性质呈显著相关或极显著相关。而土壤有机质与土壤的阳离子交换量等化学性质均无显著相关性。这说明, 土壤活性有机质为土壤养分的主要供给库^[7]。有机质虽然是土壤重要的肥力指标, 但与活性有机质及 CMI 相比, 活性有机质更能反映土壤的管理情况, 对指示土壤养分的变化更为敏感和直观。

表 5 红壤活性有机质与阳离子交换量及交换性阳离子的相关分析

Table 5 Correlation coefficients between labile organic matter and CEC and exchangeable cation content in red soil

项目 Item	阳离子交换量 Cation exchange capacity (CEC)	交换性 Ca 的量 Exchangeable Ca content (Exchr-Ca)	交换性 Mg 的量 Exchangeable Mg content (Exchr-Mg)	交换性 K 的量 Exchangeable K content (Exchr-K)	交换性 Na 的量 Exchangeable Na content (Exchr-Na)	盐基总量 Total base content
碳库管理指数 Carbon management index (CMI)	0.558 *	0.444	0.119	0.562 *	0.120	0.484
活性有机质 Labile organic matter (LOM)	0.764 **	0.705 **	0.364	0.637 *	0.341	0.797 **
中活性有机质 Mid-labile organic matter (MLOM)	0.721 **	0.604 *	0.327	0.690 **	0.280	0.643 *
高活性有机质 Highly labile organic matter (HLOM)	0.655 *	0.528	0.294	0.543	-0.024	0.552
总有机质 Total organic matter (TOM)	0.307	0.106	0.255	0.327	0.337	0.198

*在 0.05 水平上相关性显著 ($n=11$); **在 0.01 水平上相关性显著 ($n=11$) * Correlation is significant at the 0.05 level ($n=11$); ** Correlation is significant at the 0.01 level ($n=11$)

表 6 活性有机质与红壤其他化学性质的相关性

Table 6 Correlation coefficients between labile organic matter and chemical properties in red soil

项目 Item	全氮 Total N	全磷 Total P	碱解氮 Alkali hydrolysis N	缓效钾 Slowly available K	有效铜 Available Cu	有效锌 Available Zn	有效铁 Available Fe	有效硼 Available B	pH
活性有机质 Labile organic matter (LOM)	0.616 *	0.627 *	0.577 *	0.678 **	0.833 *	0.802 **	0.696 *	0.724 **	0.856 *
总有机质 Total organic matter (TOM)	0.418	0.423	0.486	0.410	0.258	0.368	0.444	0.300	-0.027
碳库管理指数 Carbon management index (CMI)	0.584 *	0.596 *	0.545	0.648 *	0.838 **	0.791 **	0.675 *	0.717 **	0.896 **

*在 0.05 水平上相关性显著 ($n=11$); **在 0.01 水平上相关性显著 ($n=11$) * Correlation is significant at the 0.05 level ($n=11$); ** Correlation is significant at the 0.01 level ($n=11$)

3 结论

红壤旱地长期施肥耕种后,土壤活性有机质及 CMI 发生了显著的变化,单施化肥和不施肥的 6 个处理(CK、N、NP、NK、PK、NPK),土壤的活性有机质平均从 5 a 的 2.60 g kg^{-1} 下降到 10 a 的 2.14 g kg^{-1} ,平均下降了 17.7%,CMI 下降 21.7。而有机肥的 3 个处理(MNPK、1.5MNPK、M),土壤活性有机质 10 a 比 5 a 平均上升 2.97 g kg^{-1} ,上升幅度为 99.8%,CMI 提高 117.6。但在不同活性的 3 组有机质中,耕作施肥 10 a 中活性有机质下降,而高活性有机质在开始 5 a 快速下降,以后处于恢复上升过程。

土壤活性有机质和 CMI 与土壤 CEC、土壤盐基总量、土壤交换性钾量、土壤全氮、全磷、有效氮、微

量元素 Cu、Zn、Fe、B 及 pH 等土壤农化性质都表现出显著或极显著正相关;而土壤有机质量与土壤性质相关性不显著。同时,作物产量也和中活性有机质及活性有机质极显著相关,却与总有机质没有显著相关性。所以用有机质数量不能很好评价土壤有机质的质量,而活性有机质的不同组分和 CMI 能更为客观地反映土壤质量和土壤肥力状况,应成为土壤管理的良好评价指标。

参考文献

- [1] 文启孝编著. 土壤有机质研究法. 北京:农业出版社,1984. 1~8. Wen Q X. ed. Research Methods of Soil Organic Matter (In Chinese). Beijing: Agricultural Press, 1984. 1~8
- [2] Jenkinson D S, Rayner J H. The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted classical experiments. Soil Science, 1977, 123:298~305

- [3] 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
- [4] 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. *Australian Journal of Agricultural Research*, 1995, 46 :1 459 ~ 1 466
- [5] Lefroy R D B, Lisle L. Soil organic carbon changes in cracking clay soils under cotton production as studied by carbon fractionation. *Australian Journal of Agricultural Research*, 1997, 48 :1 049 ~ 1 058
- [6] 徐明岗, 于荣, 王伯仁. 土壤活性有机质的研究进展. *土壤肥料*, 2000, (6) :3 ~ 7. Xu M G, Yu R, Wang B R. Progress on the study of soil active organic matter (In Chinese). *Soil and Fertilizer*, 2000, (6) :3 ~ 7
- [7] 张付申. 不同施肥处理对壤土和黄绵土有机质氧化稳定性的影响. *河南农业大学学报*, 1996, 30(1) :80 ~ 84. Zhang F S. Effects of different applications of fertilizers to loess soil and yellow loamy soil on the oxidable stability of soil (In Chinese). *Acta Agriculturae Universitatis Henanensis*, 1996, 30(1) :80 ~ 84
- [8] 倪进治, 徐建民, 谢正苗, 等. 不同有机肥料对土壤生物活性有机质组分的动态影响. *植物营养与肥料学报*, 2001, 7(4) :374 ~ 378. Ni J Z, Xu J M, Xie Z M, *et al.* Effects of different organic manure on biologically active organic fractions of soil (In Chinese). *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2001, 7(4) :374 ~ 378
- [9] 全国土壤普查办公室. *中国土壤*. 北京: 农业出版社, 1998. National Soil Census Office. *Soils of China* (In Chinese). Beijing: Agricultural Press, 1998
- [10] 王伯仁, 徐明岗, 黄佳良, 等. 红壤旱地长期施肥下土壤肥力及肥料效益的变化研究. *植物营养与肥料学报*, 2002, 8(增刊) :21 ~ 28. Wang B R, Xu M G, Huang J L, *et al.* Study on soil fertility and fertilizer benefit of arid red soil under long-term fertilization (In Chinese). *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2002, 8(Suppl.) :21 ~ 28
- [11] 南京农学院主编. *土壤农化分析*. 北京: 农业出版社, 1988. Nanjing Agricultural College. *Analysis of Soil and Agricultural Chemistry* (In Chinese). Beijing: Agricultural Press, 1988
- [12] Balesdent J, Mariotti A, Guillet B. Natural ^{13}C abundance as a tracer for studies of soil organic matter dynamics. *Soil Biology and Biochemistry*, 1987, 19 :25 ~ 30

LABILE ORGANIC MATTER AND CARBON MANAGEMENT INDEX IN RED SOIL UNDER LONG TERM FERTILIZATION

Xu Minggang Yu Rong Wang Boren

(*Institute of Soil and Fertilizer, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China*)

Abstract Labile organic matter (LOM) in red soil under long-term fertilization was measured using the KMnO_4 oxidation method. The results show that LOM and carbon management index (CMI) decreased apparently in red soils in Treatment Zero-fertilizer (CK) or treatments applied chemical fertilizer (CK, N, NP, NK, PK, and NPK) after 10 years of cultivation, with the maximum drop (CK) by 40.5 % in LOM and 48.1 in CMI; but increased significantly in the treatments applied with manure or with both manure and chemical fertilizers (M, MNPK, and 1.5MNPK), with the maximum rise (1.5MNPK) by 183 % in LOM and 195 in CMI. LOM and CMI in Treatment SNPK decreased after 5 years by 25.2 % and 31, respectively; but increased after 10 years by 17.9 % and 13, respectively. These suggest that chemical fertilizers mainly increase non-labile organic matter content, while manure mainly improves quality of soil organic matter, and straws are slower in the effect than manure.

The contents of three fractions of labile organic matter named as highly labile organic matter (HLOM), mid-labile organic matter (MLOM) and labile organic matter (LOM), respectively, were determined using 33 mmol L^{-1} , 167 mmol L^{-1} and $333 \text{ mmol L}^{-1} \text{KMnO}_4$, respectively. Averagely, HLOM, MLOM and LOM accounted for 5.6 %, 9.6 % and 14.5 % of total organic matter, respectively. Significant correlations were found among the three with the coefficient between HLOM and MLOM being 0.478^* , between HLOM and LOM being 0.592^{**} , and between MLOM and LOM being 0.716^{**} .

Crop yield was also found closely related to MLOM and LOM, with the correlation coefficient being 0.821^{**} and 0.602^{**} , respectively, but the correlation between crop yield and total organic matter was insignificant. At the same time, LOM and CMI showed significant positive correlations with cation exchange capacity (CEC), exchangeable potassium, exchangeable calcium, total base and microelement, etc.. However, total organic matter was insignificantly related to those chemical indexes. So, LOM and CMI could more than total organic matter objectively reflect changes in soil fertility and soil quality, and should be used as indices to describe soil quality and assess soil management.

Key words Red soil; Labile organic matter; Carbon management index